บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาผลของนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติจากเมล็ดคำแสด มีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย หัวข้อต่อไปนี้

1. นาโนซิงค์ออกไซด์
2. นาโนเทคโนโลยี
3. เทคโนโลยีนาโนในธรรมชาติ
4. คำแสด
5. เส้นไหม
6. การย้อมสี
7. สีย้อม
8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นาโนซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) รู้จักในนามคาลาไมล์ ซึ่งเป็นภาษาอียิปต์โบราณ เป็นธาตุธรรมชาติจากสินแร่ สมิธโซไนต์ (Smithsonite) มนุษย์ใช้ซิงค์ออกไซด์ในการรักษาโรคตั้งแต่ในยุคอียิปต์โบราณ ซิงค์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดสีขาว เป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Anti-Bacteria) ไม่มีความเป็นพิษต่อร่างกาย นอกจากฆ่าแบคทีเรียแล้วยังช่วยป้องกันและยับยั้งการแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ด้วยเหตุผลนี้ซิงค์ออกไซด์จึงเป็นหนึ่งในสารที่สำคัญในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย และยังสามารถป้องกันรังสี UV-A และ UV-B ระงับกลิ่นอันไม่พึงประสงค์

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมานี้ เนื่องจากมีสมบัติในช่วงกว้าง คือ สามารถใช้วิธีเติมสารเจือเพื่อปรับโครงสร้างระดับจุลภาค และโครงสร้าง แถบพลังงานให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ (ตั้งแต่ตัวนำไปจนถึงฉนวนไฟฟ้า) วัสดุนี้มีค่าแบนด์แก็ป (Band Gap) กว้างมีความเป็นเพียโซอิเล็กทริก และเฟอร์โรแมกเนติก อีกทั้งมีความไวต่อการตรวจวัด สารเคมีต่างๆ ด้วยซิงค์ออกไซด์สามารถสังเคราะห์ให้มีโครงสร้างต่างๆ ในระดับขนาดนาโนเมตรได้ง่าย จึงไม่ใช่เรื่องยาก ที่จะพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ๆ ที่มีสมบัติ และการนำไปใช้งานที่หลากหลาย ในที่นี้จะกล่าวถึงโครงสร้างในระดับนาโนของซิงค์ออกไซด์ที่มีการศึกษาในปัจจุบัน ตั้งแต่วิธีการ สังเคราะห์ การขึ้นรูป และการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ที่แปลกใหม่กว่าที่ผ่านมาซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำมีค่าระดับพลังงาน 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ [1] เหมาะกับการนำมาใช้ในงาน ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (Optoelectronics) ในช่วงคลื่นสั้น มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เรียกว่า เวอร์ตไซต์ (Wurtzite) ซึ่งมีค่าคงที่แลตทิซ a = 0.3296 และ C = 0.5206 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ประกอบด้วยระนาบของเตตระฮีดรัลที่เชื่อมระหว่าง $Zn_2 + O_2$ เรียงเป็นชั้นๆ ตามแนวแกน C เตตระฮีดรัลที่ประกอบด้วย $Zn_2 + O_2$ ในผลึกซิงค์ออกไซด์

ลักษณะสมบัติเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

1. การมีค่าดรรชนีหักเหสูง (High Refractive Index) การทนความร้อนและอุณหภูมิได้ดี โดยซิงค์ออกไซด์มีค่าดรรชนีหักเหประมาณ 1.95-2.10 ทำให้วัสดุที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์ เกิดการสะท้อนแสงได้ดี และวัสดุที่ถูกเคลือบจะมีความสว่างสูงและมีความเสถียรทางอุณหภูมิแม้ว่า อุณหภูมิสูงถึง 1800 องศาเซลเซียส ทำให้มีสมบัติในการเป็นตัวกลางไฟฟ้าได้ดี รวมทั้งทนความร้อนได้ดีและสามารถนำไปใช้ได้ในหลายอุตสาหกรรม

2. ลักษณะสมบัติทางแสง จากการที่ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีค่าช่องว่างของแถบพลังงาน Band Gap เป็น 3.37 eV ซึ่งใกล้เคียงกับค่าช่องว่างของแถบพลังงาน 3.39 eV ของแกลเลียมไนไตรด์ (GaN) แต่เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีราคาถูกกว่ามากโดยปัจจุบันนิยมนำมาใช้แทนวัสดุ GaN สำหรับการนำไปใช้เป็นเครื่องมืออิเลคโทรนิคส์ ที่ทำงานในช่วงของแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี เช่น LEDs, laser diodes หรือ photodetectors เป็นต้น

3. คุณสมบัติการเป็นผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ โดยมีลักษณะเป็นสารกึ่งตัวนำแบบ n-Type ซึ่งในปัจจุบันได้มีความพยายามในงานวิจัยที่จะพัฒนาผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์ให้เป็นแบบ p-Type โดยงานวิจัยบางงานได้รายงานถึงการสังเคราะห์ p-Type Polycrystalline Film โดยผลึกเดี่ยวของซิงค์ออกไซด์สามารถขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิและความดัน

4. คุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซิงค์ออกไซด์มีลักษณะสมบัติที่สามารถถูกเหนี่ยวนำให้มีลักษณะเป็น ferromagnetic ได้ดีโดยการเจือด้วยธาตุที่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น เหล็ก โคบอลต์ นิเกิล เป็นต้น หรือเจือด้วยธาตุที่ไม่มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก เช่น ไททาเนียม วานาเดียม เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้งานในเครื่องมืออิเลคโทรนิคส์ได้หลายชนิด นอกจากนี้การเจือด้วยธาตุต่างๆ ยังทำให้ซิงค์ออกไซด์มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้นได้ เช่น การเจือด้วยลิเธียม จะส่งผลให้ซิงค์ออกไซด์มีค่าต้านทานสูง ($>10^{12}$ โอห์มเซนติเมตร) การเจือด้วยอินเดียม (In) ทำให้ซิงค์ออกไซด์สามารถนำพาอิเลคตรอนได้ดี โดยมี carrier concentration ได้มากถึง 10^{20} เซนติเมตร$^{-3}$ จากลักษณะสมบัติเหล่านี้ทำให้ซิงค์ออกไซด์นำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องมืออิเลคโทรนิคส์

5. การเป็นสารเร่งปฏิกิริยา (Photocatalyst) เป็นลักษณะเฉพาะของซิงค์ออกไซด์ในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งมาจากคุณสมบัติของการสารเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ของซิงค์ออกไซด์

สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ (Zinc) หรือที่เรียกกันในชื่อภาษาไทยว่า สังกะสี มีสูตรทางเคมีว่า Zn เป็นสารเคมีที่มี เลขอะตอมเท่ากับ 30 เป็นสารที่อยู่ในกลุ่มจำพวกโลหะทรานซิชัน โดยลักษณะเนื้อสารจะเป็น ของแข็งที่อุณหภูมิห้องและมีสีเทาอ่อนแกมน้ำเงิน เลขมวลอะตอมเท่ากับ 65.37 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวของเนื้อสารอยู่ที่อุณหภูมิ 692.68 เคลวิน (419.5°C) และมีจุดเดือดของสารอยู่ที่ 1180 เคลวิน (906°C) โครงสร้างผลึกของซิงค์จะมีลักษณะเป็นเฮกซะโกนอล (Hexagonal) ลักษณะหรือ ลักษณะพิเศษ เป็นโลหะจำพวกหนึ่งในกลุ่มแร่โลหะพื้นฐาน มักพบร่วมกับแร่เงิน ทองแดง แคดเมี่ยม พลวง สารหนู บิทมัส ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีทนทานต่อการสึกกร่อน และช่วยยืดอายุการใช้งานของเหล็กได้ ออกซิเจน (Oxygen) เป็นธาตุทางเคมีที่มีสัญลักษณ์คือ O อยู่หมู่ที่ 6 และมีเลขอะตอม เท่ากับ 8 ออกซิเจนเรียกได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและมีปริมาณเป็นอันดับที่ 2 ของส่วนประกอบของบรรยากาศโลกซึ่งมีอยู่

ประมาณ 20.947% โดยปริมาตร เนื่องด้วยค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของออกซิเจนจะสามารถเกิดพันธะเคมีกับธาตุอื่นได้เกือบหมด ยกเว้นแต่ก๊าซเฉื่อยเท่านั้นที่ ไม่ทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) เป็นสารประกอบทางเคมีที่มีสูตรทางเคมีเป็น ZnO มีลักษณะเป็นผงที่ไม่ละลายในน้ำและใช้ผสมในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ยาง พลาสติก เซรามิก แก้ว น้ำมันเครื่อง สีทา สารยึดเกาะ อาหาร แบตเตอรี่ และอื่นๆ ในธรรมชาติจะพบในรูปซินไซต์ แต่ส่วนใหญ่ได้จากการสังเคราะห์ มีโครงสร้าง ผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล โดยสารซิงค์ออกไซด์จะพบอยู่ในรูปของผลึกเฮกซะโกนอล หรือในรูปของ ผงแป้งสีขาวที่รู้จักกันในชื่อว่า Zinc white สีของสารซิงค์ออกไซด์จะมีสีขาวและจะถูกเปลี่ยนเป็นสี เหลืองเมื่อถูกให้ความร้อนและกลับเป็นสีขาวตามเดิมเมื่ออุณหภูมิลดลง การตอบสนองต่อแสงสีขาว เนื่องด้วยซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นจึงมีค่าพลังงานของแถบพลังงานมากกว่า 3.3 eV ขึ้นไป ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำช่องว่างแถบพลังงานกว้างนี้จะมีประสิทธิภาพสูงมากสามารถ ประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและกำลังสูงได้

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารซิงค์ออกไซด์

Properties of ZnO	Value
Lattice parameterat 300 K	
a_0	0.32495 nm
c_0	0.52069 nm
a_0 / c_0	1.602
Density	5.606 gcm^{-3}
Stable phase	Wurtzite
Melting point	1975°C
Refractive index	2.008
Energy gap	3.4 eV (direct)
Exciton binding energy	60 meV
Electron Hall mobility at 300 K for low n-type conductivity	200 $cm^2 V^{-1} s^{-1}$
Electron Hall mobility at 300 K for low n-type conductivity	200 $cm^2 V^{-1} s^{-1}$

การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมของซิงค์ออกไซด์ (ZnO)

1. อุตสาหกรรมยาง นิยมใช้ในการเป็น Vulcanizing Activator ซึ่งเป็นสารที่เติมลงไปในปริมาณน้อยในการผลิตยางเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ และนำมาใช้ในการเป็น Cross-linking Agent สำหรับ Elastomer ที่มีธาตุหมู่ 7 อยู่ด้วย เช่น Neoprene หรือ Polysulfides โดยการเติมซิงค์ออกไซด์จะช่วยพัฒนาคุณสมบัติการนำความร้อนให้กับยาง และช่วยเพิ่มเติมคุณสมบัติความต้านทานความร้อน และการทนการขีดข่วนได้ดี

2. อุตสาหกรรมเซรามิค โดยเฉพาะอุตสาหกรรมกระเบื้อง โดยอาศัยลักษณะสมบัติการต้านทานความร้อนและอุณหภูมิสูงของซิงค์ออกไซด์ และทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิค กระเบื้องไม่เกิดการขยายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง และลดการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของสารเคลือบผิว ซิงค์ในปริมาณน้อยยังช่วยในการปรับปรุงพื้นผิวที่มันเงาและวาวของผลิตภัณฑ์ อีกด้วย

3. อุตสาหกรรมสี ซิงค์ออกไซด์นิยมใช้เป็นส่วนผสมของสี หรือน้ำยาเคลือบผิว โดยลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง (High Refractive Index) ทำให้มีความสว่าง มีสีขาวซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อของ “Zinc white” หรือ “Chinese white” โดยซิงค์ออกไซด์สามารถดูดซับแสงได้ต่ำในขณะที่สามารถกระเจิงแสงในช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) ซึ่งการกระเจิงแสงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและความยาวแสงเป็นหลัก

4. อุตสาหกรรมกระดาษ ซิงค์ออกไซด์นิยมใช้เป็นส่วนผสมของผลสีในการผลิตกระดาษ โดยมีลักษณะสมบัติที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ เป็นลักษณะเฉพาะที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง (High Refractive Index) ทำให้กระดาษมีสีขาวและสว่าง

5. อุตสาหกรรมพลาสติก นิยมใช้ซิงค์ออกไซด์เพื่อให้เกิดการต้านทานต่อความร้อน การเปลี่ยนแปลงเชิงกลและการกันน้ำหรือกันไฟ โดยใช้เป็นสาร Stabilizer ในการผลิตเรซินประเภท Polyolefin สำหรับการผลิตพลาสติกชนิด High Density Polyethylene (HDPE) Polypropylene (PP) Polyester ที่ไม่อิ่มตัว รวมทั้งพลาสติกในกลุ่มของ Poly-vinyl-halide เพื่อผลิตเป็นพลาสติก PVC

6. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เครื่องสำอางหลายชนิดจะมีการนำซิงค์ออกไซด์ไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น ครีมกันแดด ครีมบำรุงผิว ครีมรองพื้น แป้งทาหน้า ครีมเพิ่มความชุ่มชื้น เป็นต้น (94) โดยซิงค์ออกไซด์จะทำให้เครื่องสำอางเหล่านี้ติดผิวได้ดี และเป็นสารดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งทำให้ผิวได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตน้อยลงทั้งในส่วนของ UVA (ความยาวคลื่น 320-400 นาโนเมตร) และ UVB (ความยาวคลื่น 290-320 นาโนเมตร) นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ช่วยในการรักษาแผลและทำให้บาดแผลสะอาด โดยมาจากความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย เช่น Propionibacterium Acnes เป็นต้น ซึ่งเกิดจากการทำให้สารน้ำมันที่เคลือบบนผิวเกิดการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระ ทำให้เกิดการทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังได้นำมาใช้ในแชมพูต้านรังแค น้ำยาระงับกลิ่นกาย และใช้ในการรักษาผื่นผ้าอ้อม อีกด้วย

7. อุตสาหกรรมผลิตสารเร่งปฏิกิริยา การนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งมักนิยมใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ในการผลิตเมธานอล การผลิตไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ การผลิตฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้นำไปใช้ในการเปลี่ยนรูปของสารไซโคลเฮกซานอล เป็นไซโครเฮกซาโนน

8. อุตสาหกรรมอิเลคโทรนิคส์ ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยหลายงานที่นำซิงค์ออกไซด์ไปใช้ในการผลิตเครื่องมืออิเลคโทรนิคส์ โดยเฉพาะการผลิตและออกแบบ Light Emitting Diodes (LED) ทั้งแบบ UV Laser และ Organic LED โดยใช้ลักษณะสมบัติที่สามารถเปล่งแสงสีฟ้าหรือแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ โดยในงานวิจัยของ Choi และคณะได้มีการนำลักษณะเฉพาะซิงค์ออกไซด์ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ p-type และมีความต้านทานต่ำมาพัฒนาการนำไปใช้เป็น LED ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัย

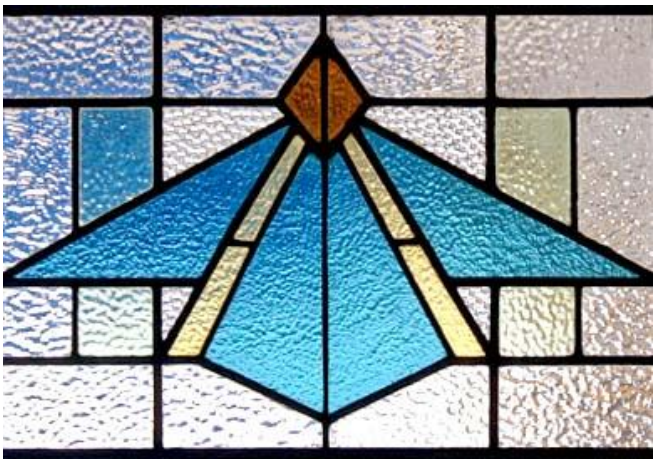
นาโนเทคโนโลยี

นาโนศาสตร์ (Nanoscience) และนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) มีการขยายตัวอย่างกว้างขวางในวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยที่ นาโนศาสตร์ เป็นการศึกษาปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของวัตถุที่มีขนาดเล็กที่เรียกว่า วัสดุนาโน (Nanomaterials) มีขนาดอยู่ในช่วงนาโนเมตร (10^{-9} เมตร) ประมาณ 1-100 นาโนเมตร ส่วนนาโนเทคโนโลยีเป็นการสังเคราะห์และประยุกต์วัสดุนาโนมาใช้ให้เป็นประโยชน์มีจุดมุ่งหมายสำคัญคือพัฒนาความสามารถที่จะสร้างและจัดเรียงอนุภาคต่างๆ ให้ได้ตามความต้องการ เป็นการสร้างสสารหรือโครงสร้างของสารในแบบใหม่ๆ ที่มีสมบัติพิเศษสาเหตุสำคัญที่ทำให้นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีเกิดขึ้นมาเนื่องจากมีแรงผลักดันทางด้านเทคโนโลยีในช่วงประมาณ 40-50 ปีที่ผ่านมาวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิคส์ได้ลดขนาดลงมากที่เห็นได้ชัด เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กลงและมีความเร็วกว่าสมัยก่อนมาก ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ภายในวงจรที่เป็นไมโครชิพมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนถึงขีดจำกัดเมื่อขนาดอยู่ในช่วงนาโนเมตร เพราะขาดเครื่องมือที่จะสามารถศึกษาหรือสร้างวัตถุขนาดเล็กไปถึงในช่วงนาโนเมตรนี้ได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหนุนสำหรับเทคโนโลยีนี้คือ การประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Electron Microscope) ที่สามารถให้ภาพของวัตถุที่มีความละเอียดในระดับอะตอมได้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่เป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนานาโนศาสตร์คือกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทะลุผ่าน (Scanning Tunnelling Microscope, STM) ที่สามารถส่องกราดภาพให้ความละเอียดในระดับอะตอม และจัดเรียงอะตอมให้เป็นรูปร่างที่ต้องการ เป็นจุดเริ่มต้นให้มีการศึกษาโครงสร้างวัสดุนาโนต่างๆ รวมทั้งมีการคิดค้นวิธีการอื่นๆ เพื่อสังเคราะห์วัสดุนาโน เช่น โดยกระบวนการทางเคมี ซึ่งง่ายกว่าและประยุกต์ในเชิงอุตสาหกรรมได้ดีกว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดทะลุผ่านมาสังเคราะห์สารแรงผลักดันทางเทคโนโลยีไม่ใช่เป็นสาเหตุเดียวของการเกิดนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี ถ้าจะเข้าใจความสำคัญของนาโนเทคโนโลยีจริงๆ ก็ควรรู้ถึงความสำคัญของมาตร (scale) หรือขนาดของวัตถุ กับสมบัติทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะการศึกษาสาขาฟิสิกส์ ทฤษฎีหรือกฎต่างๆ จะกำหนดความสัมพันธ์ว่าสมบัติหนึ่งจะขึ้นอยู่กับสมบัติอื่นๆ อย่างไรสมบัติส่วนใหญ่แปรผันกับขนาดของวัตถุได้ไม่เหมือนกัน เช่น พื้นที่ผิวแปรผันกับความยาวกำลังสอง ปริมาตรแปรผันกับความยาวกำลังสาม พื้นที่ผิวแปรผันกับปริมาตร ทำให้อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรแปรผกผันกับความยาวเป็นต้นจะเห็นได้ว่าถ้าขนาดของวัตถุเปลี่ยนไป อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรจะเปลี่ยนไปด้วยในเชิงตรงกันข้าม วัตถุยิ่งเล็กลง อัตราส่วนนี้จะยิ่งเพิ่มมากขึ้นอัตราส่วนพื้นผิวต่อปริมาตรนี้มีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมี รวมถึงตัวเร่งปฏิกิริยา เพราะการเกิดปฏิกิริยาเคมีส่วนมากจะเกิดที่ผิวของสารทำปฏิกิริยา (Reactants) ก่อนวัสดุนาโนที่มีขนาดเล็กลงมีจำนวนอนุภาคมากขึ้น ย่อมมีพื้นที่ผิวมากขึ้น การเกิดปฏิกิริยาจะยิ่งเร็วมากขึ้นกว่าสารอย่างเดียวกันที่เป็นวัตถุขนาดใหญ่ ความสำคัญของนาโนเทคโนโลยียังมีความลึกซึ้งอีกมากจากการที่ช่วงขนาดนาโนเมตรมีขนาดใหญ่กว่าอะตอม(ที่มีขนาดอยู่ในช่วงอังสตรอม (10^{-10} เมตร) ประมาณสิบเท่า ดังนั้นนาโนเมตรเป็นช่วงขนาดของกลุ่มอะตอม หลายสิบหลายร้อยอะตอม

นาโนศาสตร์เป็นรอยต่อที่สำคัญของการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ในโลกของอะตอม (Atomic World) กับโลกมหภาค (Macroscopic World) ในชีวิตประจำวันมีความแตกต่างดังเช่นการตัดแบ่งครึ่งสสารอย่าง เช่น ก้อนทองคำออกเป็นสองส่วนแล้ว จากนั้นก็ตัดแบ่งครึ่งแต่ละส่วนไปอีกเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง สิ่งที่ได้ยังคงเป็นเป็นทองคำเหมือนกันแต่ในโลกของอะตอมถ้าตัดแบ่งสารเคมีในระดับอะตอมจะได้สารที่ต่างไปจากสารตั้งต้น นี่เป็นสมบัติหลักในโลกควอนตัม (Quantum World) ความหมายของ

ควอนตัมคือจำนวนนับหรือจำนวนเต็มที่มีค่าไม่ต่อเนื่องนั่นเอง เพราะสารในโลกอะตอม การนับจำนวนอะตอมจะนับเป็นจำนวนเต็ม ไม่มีเป็นจำนวนครึ่งอะตอมหรือหนึ่งในสี่อะตอม จึงเป็นไปไม่ได้ว่าจะทำการแบ่งทองเป็นครึ่งอะตอมการที่วัสดุนาโนอยู่ในช่วงรอยต่อระหว่างโลกมหภาคกับโลกควอนตัม ได้ก่อให้เกิดความแปลกใหม่ที่น่าสนใจ เช่น วัสดุนาโนของทองคำจะมีสมบัติกึ่งระหว่างทองคำที่เป็นโลหะมีตระกูล (Noble Metal ซึ่งมีสมบัติเฉื่อยทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ยาก) กับสมบัติของอะตอมของทองที่เหมือนกับสารเคมีที่เป็นตัวทำปฏิกิริยาหรือตัวเร่งปฏิกิริยาขนาดของอนุภาคนาโนที่ต่างกันจะมีสมบัติต่างกันไปในอนาคตถ้าสามารถกำหนดขนาดของอนุภาคนาโนของทองคำได้ ก็อาจจะเลือกได้ว่าจะให้ทำปฏิกิริยากับสารเคมีแบบใดสมบัติดังกล่าวนี้เป็นเรื่องที่ศึกษากันมากในนาโนศาสตร์ช่วงแรกๆ เพราะสามารถใช้สารเพียงชนิดเดียวทดแทนสมบัติของสสารอื่นๆ ได้มากมายนอกจากนั้นการที่นาโนศาสตร์เป็นตัวเชื่อมระหว่างโลกอะตอมและโลกควอนตัมทำให้มีการคาดคะเนกันว่านาโนเทคโนโลยีอาจจะเป็นตัวนำไปสู่การปฏิวัติทางเทคโนโลยีครั้งใหม่ของโลกที่จะนำปรากฏการณ์ต่างๆ ของโลกควอนตัมมาสู่ชีวิตประจำวันได้

นอกจากนั้นขนาดในช่วงนาโนเมตรนี้รวมไปถึงสสารหลายอย่างในศาสตร์ความรู้ที่หลากหลายตั้งแต่พวกอนุภาคโลหะขนาดนาโนเมตร พวกสารเคมีที่เป็นมหโมเลกุล เช่น โปรตีน DNA และสารทางชีวภาพอีกมากมายจึงทำให้นาโนศาสตร์เป็นวิชาที่กว้างครอบคลุมไปถึงวิทยาศาสตร์ทุกแขนง ที่เรียกกันว่าวิทยาศาสตร์สหวิทยาการ (Multi-disciplinary Science) เป็นการบูรณาการความรู้ของวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ เข้าด้วยกัน ทั้ง ศาสตร์ของเคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ นาโนศาสตร์จึงคล้ายกับการศึกษาวิทยาศาสตร์ช่วงแรกที่นักปรัชญากรีกสมัยโบราณ อภิปรายกันในเรื่องเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆนอกจากนี้ นาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีไม่ใช่วิทยาการใหม่ชาวตะวันตกรู้จักการใช้ประโยชน์ของอนุภาคนาโน (Nanoparticles) มาหลายร้อยปีแล้วอย่างไม่รู้ตัวช่างทำกระจกสีที่ใช้ประดับในโบสถ์ มีการใช้โลหะ เช่น ทองแดง ทองคำ หลอมผสมกับแก้วเป็นกระจกสีต่างๆ ซึ่งได้มีการคาดคะเนทางทฤษฎีมาเมื่อประมาณร้อยปีก่อนนี้แล้วว่า สีเหล่านี้เกิดขึ้นจากอนุภาคของโลหะที่ผสมลงในกระจก และปัจจุบันนาโนศาสตร์ก็ได้มาช่วยยืนยันสมมุติฐานดังกล่าวว่าเป็นเพราะสมบัติดูดซับแสงของอนุภาคโลหะขนาดช่วงนาโนเมตรที่จะดูดซับแสงสีต่างๆ ในสัดส่วนที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้แสงที่ทะลุผ่านกระจกได้ไม่เหมือนกันและเห็นเป็นสีของกระจกต่างกันไป



รูปที่ 2.1 กระจกสี

จึงอาจกล่าวได้ว่า ความหมายโดยรวมของนาโนเทคโนโลยี คือ การจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์และระบบต่างๆ ที่มีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร ด้วยความถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีสมบัติที่พิเศษ ทำให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้

นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์

ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเคมีสีขาวใช้เป็นสารให้สีในพลาสติก กระดาษ เครื่องสำอางและครีมกันแสงแดด เมื่ออยู่ในรูปนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีขนาก 1 – 100 nm เป็นผลึก รูป Rutile, Anatase หรือ Bookite สามารถดูดกลืนและกระเจิงแสงและรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์จะมีพื้นที่ผิวหน้ามากจึงสามารถดูดกลืนรังสีได้ดี

ปัจจุบันนี้การนำนาโนเทคโนโลยีเข้ามาปรับปรุง หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นและสร้างจุดขายให้กับสินค้า กำลังเป็นที่นิยมเป็นอย่างมาก ผลิตภัณฑ์ที่มีการนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ เช่น

ด้ายทนรอยยับและป้องกันคราบสกปรก (Wrinkle-Resistant, Stranin-Repellent Threads) **และผ้านาโนแคร์** (Nano-Carefabric) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้ค้นคว้าวิจัยจากนาโนเทกซ์ ติดโครงสร้างโมเลกุลไปกับใยฝ้าย ทำให้เกิดการปิดกั้นการซึม ทำให้ของเหลวและคราบ สกปรกลอยขึ้นบนผิวและป้องกันการดูดซึม เนื้อผ้าที่ผ่านกรรมวิธีนี้สามารถป้องกันการเกิดรอยยับ คราบสกปรก เช่น โซดา กาแฟ ไวน์ น้ำสลัด และน้ำเชื่อมคล้ายกับการเคลือบป้องกันน้ำผ้านาโนแคร์เป็นส่วนสำคัญในกางเกงผ้ากากี กางเกงผ้าฝ้ายทอสองเส้น ผ้ามีริ้ว สำหรับสุภาพบุรุษ และสตรี เป็นต้น

เสื้อนาโน

รูปที่ 2.2 เสื้อนานโน

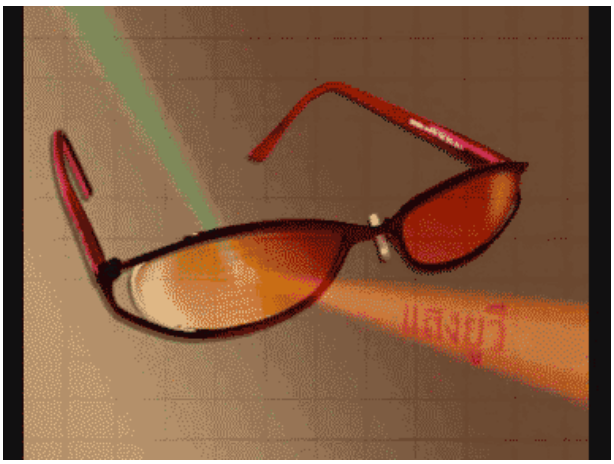
เป็นเสื้อที่ประยุกต์เอานาโนเทคโนโลยีระดับนาโนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของเนื้อผ้าธรรมดาให้มีสมบัติเพิ่มขึ้น อันได้แก่ สมบัติป้องกันน้ำ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แบคทีเรีย ไฟฟ้าสถิตย์ รวมถึงป้องกันการยับ สมบัติข้างต้นจะช่วยให้เนื้อผ้ามีจุดเด่นเพิ่มขึ้น และมีผลต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอย่างมาก

ครีมทาผิวซึมลึก (Deep-Penetrating Skin Cream) เป็นเครื่องสำอางที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยนาโนเทคโนโลยี สามารถซึมลงใต้ผิวหนังเพื่อให้มีผลต่อโมเลกุลชั้นล่าง อาทิเช่น ครีมป้องกันรอยย่น

Plenitude Revitalift ใช้นาโนเทคโนโลยี ในกระบวนการผลิตเพื่อใส่วิตามิน A ลงในแคปซูลสารประกอบแคปซูลเปรียบเสมือนฟองน้ำที่ชุ่มไปด้วยครีมข้างใน จนกระทั่งซึมผ่านผิวชั้นนอกและละลายซึมถึงผิวชั้นในมีการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ถูกสอบถามที่ใช้ Revitalift 80% รายงานว่ามีประสิทธิภาพในการป้องกันรอยย่นและ 75% ระบุว่าครีมนี้มีผลในการทำให้ผิวกระชับแข็งแรง

กล้องดิจิตอลแสงอินทรีย์ (Organic Light-Emitting Diodes Digital Camera, OLEDs) เป็นกล้องดิจิตอลพัฒนาด้วยนาโนเทคโนโลยีให้แสงสว่างมากกว่ากล้องที่ทำจากผลึกเหลว (Liquid Crystals, LCDs) ซึ่งใช้ในทีวีและคอมพิวเตอร์จอแบนกันอยู่ในปัจจุบัน สามารถมองจอภาพ OLEDs ได้ในมุมที่กว้างกว่า LCDs ซึ่งต้องมอง ในมุมตรง OLEDs ไม่ต้องการแสงสว่างด้านหลังเหมือน LCDs ทำให้สามารถลดการใช้กระแสไฟฟ้าลง

แว่นตานาโนคริสตัล



รูปที่ 2.3 แว่นตานาโนคริสตัล

เกิดจากการสร้างผลึกของอินเดียมออกซิไนไตรด์ขนาดประมาณ 25-30 นาโนเมตร เคลือบบนเลนส์แก้วหรือพลาสติกด้วยวิธีการไอระเหยทำให้เลนส์นั้นๆ มีสมบัติพิเศษสามารถตัดแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันได้ เช่น ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ให้แสงสีน้ำเงิน ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ให้แสงสีเขียว และความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร ให้แสงสีแดง จากสมบัติดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ โดยทำเป็น “แว่นตานาโนคริสตัล” ใช้ในการตรวจหาหลักฐานในสถานที่เกิดเหตุที่ใช้วิธีทางด้านแสงยูวี ทำให้เจ้าหน้าที่นิติวิทยาศาสตร์มองเห็นสารคัดหลั่ง อาทิ คราบเลือด คราบน้ำลาย น้ำเหลือง อสุจิหรือลายนิ้วมือ ได้ทันที

ครีมกันแดดนาโน องค์ประกอบพื้นฐานสำคัญของสารกันแดด คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งเป็นแร่ที่มีสมบัติเฉื่อยและไม่ละลายน้ำถ้าบดอนุภาคเหล่านี้ให้เล็กมากๆ ขนาดนาโนเมตร แร่จะโปร่งใส แต่ก็ยังมีความสามารถในการสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) ทั้ง UVA และ UVB ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่เกิดอาการแพ้

ผลิตภัณฑ์เคลือบเงารถยนต์

รูปที่ 2.4 ผลิตภัณฑ์เคลือบเงารถยนต์นาโน

องค์ประกอบพื้นฐานสำคัญของสารกันแดด คือ ไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตลดแรงตึงผิวของน้ำและสามารถทำลายแบคทีเรียหรือมีสมบัติ Super-hydrophilic ซึ่งทำให้น้ำไม่เกาะเป็นหยด แต่จะเปียกบนแผ่นกระจกและไหลลงในลักษณะเป็นฟิล์มบางกระจายไปทั่วพื้นผิวกระจก ซึ่งจะช่วยให้มองเห็นทัศนียภาพภายนอกได้ในขณะที่ ฝนตก นอกจากนี้ยังช่วยให้น้ำสามารถชะล้างสิ่งสกปรกออกได้ดีขึ้นซึ่งถ้าเคลือบลงบนกระจก เรียกว่ากระจกทำความสะอาดตัวเองได้ (Self Cleaning Glass) ด้วยสมบัติดังกล่าวจึงมีการพัฒนาไททาเนียมไดออกไซด์ นำมาเคลือบผิวรถยนต์ให้มีสมบัติน้ำไม่เกาะตัวเป็นหยดบนพื้นผิวทั้งยัง ช่วยทำความสะอาดพื้นผิวโดยจะนำพาฝุ่นเศษดินหรือทรายที่ติดอยู่บนพื้นผิว เมื่อสัมผัสกับน้ำไม่ว่าจะเป็นการล้างรถหรือฝนตก ช่วยประหยัดน้ำจากการล้างรถได้ถึงครึ่งหนึ่งจากการล้าง

เทคโนโลยีนาโนในธรรมชาติ

วัสดุนาโนไม่ใช่เพิ่งจะมีหรือเพิ่งเกิด แต่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ มนุษย์เพิ่งจะทราบความลับนาโนที่ซ่อนเร้นเมื่อไม่นานมานี้เอง เมื่อมนุษย์สามารถสร้างอุปกรณ์และเครื่องมือ ที่สามารถทำให้เราเห็นในสิ่งที่สายตาปกติมองไม่เห็น ทำให้มนุษย์สามารถอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างในธรรมชาติ ซึ่งเดิมไม่สามารถหาเหตุผลมาอธิบายได้ เทคโนโลยีนาโนในธรรมชาติมีอยู่มากมาย พอยกตัวอย่างได้ดังนี้

ตีนตุ๊กแก

ตุ๊กแกและสัตว์เลื้อยคลานบางชนิด เช่น จิ้งจก สามารถเกาะติด เคลื่อนไหวปีนป่าย หรือห้อยโหนไปตามผนังบ้าน เพดาน หรือผนังวัตถุอื่นๆ ได้โดยไม่ตกลงมา เพราะอุ้งตีนตุ๊กแกมีนิ้วที่แผ่แบนกว้างออกไปมาก ที่ปลายนิ้วที่แผ่แบนออกไปนี้ มีลักษณะเป็นแถบมองดูเหมือนเกล็ด เรียกแถบเหล่านี้ว่าลาเมลเล่ (Lamellae) ที่ลาเมลเล่เหล่านี้ เมื่อมองดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบว่ามีขนเล็กๆ เรียกว่าซีเต้ (Setae) นับล้านเส้น ที่ปลายขนเล็กๆ เหล่านี้ แต่ละเส้นยังมีขนปลายแบนเล็กจิ๋ว เรียกว่า สปาตูเล่ (Spatulae) ที่

สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวกับวัตถุที่เกาะได้อยู่อีกนับร้อยเส้น ทำให้ตุ๊กแกสามารถเกาะยึดกับวัตถุต่างๆ และเคลื่อนที่ไปมาได้โดยไม่ตก

จากการศึกษาโครงสร้างของตีนตุ๊กแกนี่เอง ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถสร้างเส้นขนขนาดนาโน (Nanoscopic Hairs) ที่ทำหน้าที่คล้ายกับสปาตูเล่ที่ตีนตุ๊กแกได้ เรียกว่า แถบยึดตุ๊กแก (Gecko Tape) นำไปใช้ในการผูกมัด ยึดเกาะในสิ่งของเครื่องใช้ชนิดต่างๆ แทนการผูกด้วยเชือก กระดุม หรือซิป เช่น ใช้ยึดรองเท้าแทนการผูกเชือก ใช้กดยึดปิดฝากระเป๋าแทนการมัดหรือติดรังดุม ทำให้การใช้งานรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตเทปที่มีความเหนียวมากให้แก่นักบินอวกาศ เพื่อนำไปใช้ในสภาวะสุญญากาศ ผลิตเทปติดแผลที่ใช้ในการผ่าตัด เป็นต้น

ใบบัว

ในชีวิตประจำวันเราอาจจะพบเห็นอยู่บ่อยๆ ว่าใบไม้บางอย่างไม่เปียกน้ำ เช่น ใบบัว หรือใบบอน เมื่อโดนน้ำจะไม่เปียก นอกจากไม่เปียกน้ำแล้วยังนำเอาฝุ่นละออง หรือคราบสกปรกที่เกาะติดอยู่กับใบไม้ หลุดลอกออกไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ผิวหน้าของใบบัวประกอบด้วยโครงสร้างขนาดเล็กๆ คล้ายหนามอยู่จำนวนมาก และมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ โดยหนามแต่ละอันมีความเล็กขนาดนาโนเมตร หนามเหล่านี้ส่งผลให้ผิวด้านหน้าของใบบัวมีลักษณะขรุขระ เมื่อหยดน้ำซึ่งมีแรงตึงผิวในตัวอยู่แล้ว ตกลงมากระทบใบบัว ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำกับใบบัวนั้นน้อยมาก นอกจากนี้ผิวด้านบนของใบบัวยังเคลือบด้วยสารซึ่งมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ทำให้หยดน้ำไม่กระจายตัว คุณสมบัติทั้งสองประการนี้ ส่งผลให้ใบบัวแสดงคุณสมบัติเป็นพื้นผิวปฏิเสธน้ำชั้นเยี่ยม (Super Hydrophobic Surface) หากมีฝุ่นผงและสิ่งสกปรกต่างๆ ติดอยู่ที่ใบบัว เมื่อหยดน้ำตกลงมาหยดน้ำจะกลิ้งพาให้สิ่งสกปรกติดไปกับหยดน้ำ เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหยดน้ำกับสิ่งสกปรกมีค่าสูงกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสิ่งสกปรกกับใบบัว จึงทำให้ใบบัวสะอาดอยู่เสมอ (Self-cleaning Surface)

จากธรรมชาติของใบบัว ทำให้นักวิทยาศาสตร์มีแนวความคิดในการสร้างเสื้อผ้าที่กันน้ำได้โดยนำเส้นใยที่ใช้ผลิตเสื้อผ้ามาเคลือบด้วยสารที่ปฏิเสธน้ำ ทำให้น้ำและของเหลวต่างๆ ไม่ซึมลงบนเสื้อผ้าที่สวมใส่ ทำให้เสื้อผ้าสะอาดอยู่ได้นาน รวมถึงการผลิตสี ฟิล์ม หรือกระจกที่มีคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองได้ โดยเมื่อมีสิ่งสกปรกมาเกาะอยู่บนผิวด้านหน้า เมื่อฝนตกลงมาจะชะพาเอาสิ่งสกปรกหลุดออกมาด้วย ส่งผลให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์สะอาดอยู่เสมอ

ใยแมงมุม

แมงมุมเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถชักใย และถักทอเป็นตาข่ายใช้ในการล่าสัตว์ ดักจับแมลงเป็นอาหาร ใยแมงมุม (Cobweb) เป็นเส้นใยที่มีความเหนียว แข็งแรง และทนทานมาก สามารถรองรับน้ำหนักมากๆ หรือหยุดแมลงที่บินมาด้วยความเร็วสูงได้โดยไม่ขาด ใยแมงมุมจะถูกพ่นออกมาจากต่อมสร้างใย ซึ่งอยู่บริเวณใต้ท้องด้านหลังหรือส่วนก้นของลำตัว สารที่พ่นออกมาเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ชื่อไฟโบรอิน (fibroin) อยู่ในลักษณะของเหลว เมื่อสัมผัสกับอากาศภายนอก เส้นใยจะแห้งและแข็งตัว แมงมุมจะใช้ขาถักทอเส้นใยเล็กๆ นี้เข้าด้วยกัน เป็นเส้นใยที่ใหญ่ขึ้นซึ่งก็คือใยแมงมุมนั่นเอง มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กถึง 5 เท่า แข็งแรงมากกว่าใย Kevlar ซึ่งใช้ทำเสื้อเกราะกันกระสุนถึง 3 เท่า จึงเป็นความหวังของนักวิทยาศาสตร์ ที่จะนำเอาเส้นใยที่เหนียว แข็งแกร่ง ทนทาน น้ำหนักเบา และมีความยืดหยุ่นสูงนี้ ไปทำเป็นชุดป้องกันภัยที่ทนต่อแรงอัด แรงกระแทก ฉีก ดึง เช่น ชุดเกราะกันกระสุน ชุดเก็บกู้ระเบิด หมวกนิรภัย เป็นต้น

มีรายงานการนำเทคโนโลยีการผลิตใยแมงมุมไปใช้ในทางอุตสาหกรรมว่า มีบริษัทในต่างประเทศแห่งหนึ่ง สามารถสังเคราะห์เส้นใยแมงมุมเลียนแบบธรรมชาติได้ โดยใช้เทคโนโลยีพันธุวิศวกรรม นำยีนสร้างเส้นใยของแมงมุมใส่เข้าไปในยีนสร้างน้ำนมของแพะดังนั้นน้ำนมของแพะที่รีดออกมาจึงมีโปรตีนใยแมงมุมอยู่ด้วยจากนั้นจึงแยกเอาโปรตีนดังกล่าวออกมาจากน้ำนม นำไปสังเคราะห์เส้นใยต่อไป

ไชมอน เพียร์ส ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งทอชาวอังกฤษ ริเริ่มโครงการทอผ้าด้วยใยแมงมุม สายพันธุ์ใยทอง หรือ "Golden Orb Spider" ในมาดากัสการ์ ใช้ใยแมงมุมล้วนๆ ได้ผ้าทอใยแมงมุมหนัก 2.6 ปอนด์ หรือราว 1.179 กิโลกรัม มีขนาด 11 คูณ 4 ฟุต ใช้เวลา 4 ปี ในการรวบรวมเส้นใยกว่าจะทำเสร็จสมบูรณ์

เปลือกหอยเป๋าฮื้อ

หอยเป๋าฮื้อมีเปลือกที่แข็งแกร่ง แข็งแรง และทนทานเป็นพิเศษ ทั้งๆ ที่สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักของเปลือกหอยก็คือหินปูนหรือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เช่นเดียวกันกับชอล์คที่ใช้เขียนกระดานแต่ทั้งสองชนิดมีคุณสมบัติทางกายภาพต่างกันโดยสิ้นเชิงโดยเฉพาะความแข็งเพราะชอล์คจะเปราะแตกและหักง่ายแต่เปลือกหอยจะมีลักษณะมันวาวและมีความแข็งแกร่งสูงมากที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าการจัดเรียงโมเลกุลและการเชื่อมโยงแตกต่างกันโมเลกุลของแคลเซียมคาร์บอเนตในแท่งชอล์ค เรียงอยู่ด้วยกันอย่างไม่เป็นระเบียบมีช่องว่างระหว่างโมเลกุลมาก และสารที่เชื่อมประสานขาดความแข็งแรง แต่โมเลกุลของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย มีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบเรียบร้อย เชื่อมต่อประสานกันด้วยกาวที่เป็นโปรตีนและพอลิแซคคาไรด์ มีช่องว่างระหว่างโมเลกุลน้อยมีความหนาแน่นสูง ทำให้มีความแข็งแรงทนทานมาก

ปีกผีเสื้อ

ผีเสือเป็นสิ่งมีชีวิตอีกชนิดหนึ่ง ที่เก็บความลับนาโนธรรมชาติไว้กับตัว มีสีสันสดใสประดับโลกให้สวยงาม โดยเฉพาะผีเสื้อเพศผู้จะมีปีกที่มีสีสันสวยงามมากเป็นพิเศษในธรรมชาติน่าจะมีไว้ดึงดูดเพศตรงกันข้ามาให้สนใจยอมจับคู่ผสมพันธุ์ด้วย ถ้าเคยสังเกตหรือจับผีเสื้อมาพิจารณาใกล้ๆ จะพบว่าในบางครั้งปีกผีเสื้อก็สามารถเปลี่ยนสีได้ หรือจับมาเอียงมองในมุมที่ต่างกันออกไป จะพบว่าสีของปีกผีเสื้อบางชนิด เปลี่ยนไปตามมุมที่มอง ที่เป็นเช่นนี้ไม่ได้เป็นเพราะว่าผีเสื้อมีสารที่ทำให้เปลี่ยนสีได้อยู่ในปีก แต่เป็นเพราะว่าปีกของผีเสื้อมีสารที่สะท้อนแสงแต่ละสีอยู่แล้ว เพียงแต่ว่าจะสะท้อนแสงสีใดออกมานั้น ขึ้นอยู่กับมุมที่แสงตกกระทบ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าปีกผีเสื้อนั้นจะเป็นรูพรุนเล็กๆ อยู่ในช่วงนาโนอยู่เป็นจำนวนมากมายมหาศาล และเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ทำหน้าที่เหมือนผลึกโฟโตนิกส์ (Photonic Crystal) ดูดกลืนและสะท้อนแสงในธรรมชาติ เช่น ถ้าแสงตกกระทบเป็นมุมหนึ่งอาจสะท้อนแสงสีน้ำเงินออกมา และดูดกลืนแสงสีอื่นไว้ จึงทำให้มองเห็นปีกเป็นสีน้ำเงิน ถ้าผีเสื้อขยับปีก ทำให้มุมตกกระทบของแสงมีค่าเปลี่ยนไป อาจดูดกลืนแสงสีอื่นไว้ แล้วสะท้องแสงสีฟ้าออกมา จึงทำให้มองเห็นปีกผีเสื้อเป็นสีฟ้าเป็นต้น นอกจากปีกผีเสื้อแล้วยังมีแมลงอีกหลายชนิดที่เปลี่ยนสีของปีกหรือลำตัวได้ เมื่อมองในมุมที่แตกต่างกันออกไป เช่น แมลงทับ ด้วงปีกแข็งบางชนิด นัยน์ตาแมลงปอ แมลงวัน เป็นต้น

ขาจิงโจ้น้ำ

จิงโจ้น้ำและแมลงเล็กๆ อีกหลายชนิด สามารถอาศัยอยู่บนผิวน้ำ เคลื่อนที่ไปมาหาอาหารบนผิวน้ำได้โดยไม่จมน้ำ เป็นเพราะว่าจิงโจ้น้ำและแมลงเล็กๆ เหล่านี้ อาศัยแรงตึงผิว (Surface Tension) ของน้ำซึ่งยึดเหนี่ยวโมเลกุลของน้ำเข้าไว้ด้วยกันเกิดความยืดหยุ่นทำให้ไม่จมน้ำ นอกจากนี้ยังมีลำตัวที่เล็กยาวเรียว มีขาที่ยาวและมีขนขนาดเล็กจำนวนมากปกคลุมอยู่ ขนขนาดเล็กเหล่านี้เรียกว่าไมโครซีเต (Miceosetae) ทำหน้าที่ในการกักเก็บอากาศเอาไว้ ทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางๆ ป้องกันไม่ให้จมน้ำ และทำให้สามารถเคลื่อนที่อยู่บนผิวน้ำได้

คำแสด

รูปที่ 2.5 คำแสด

ชื่อสามัญ Anatto tree

ชื่อวิทยาศาสตร์ : Bixa orellana L.

ชื่อวงศ์ : BIXACEAE

ชื่อพื้นเมือง คำเงาะ คำแงะ คำแฝด คำแสด คำยง ชาตรี ชาด จำปู้ ส้มปู้ (เขมร-สุรินทร์), คำยง ชาตี ชาดี ซิติหมัก

ต้นคำแสด เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กสูงประมาณ 3-5 เมตร เรือนยอดเป็นพุ่มกลมใบเป็นใบเดี่ยวเรียงเวียนรอบต้น รูปไข่ โคนใบมนปลายใบแหลม ของใบเรียบหรือเป็นคลื่น ดอกออกเป็นช่อที่ปลายกิ่ง แต่ละช่อมี 5-10 ดอก สีชมพู กลีบรองดอกสีเขียวขนาดเล็ก มีกลีบดอก 5 กลีบ ผลรูปไข่มีขนแข็งสีแดงคล้ายผลเงาะ เมื่อผลแก่จะแตกออกทางด้านข้าง ภายในมีเม็ดและเปลือกหุ้มสีแดง

ใบคำแสด ใบเป็นใบเดี่ยว ออกเรียงเวียนรอบต้น ลักษณะของใบเป็นรูปไข่ ปลายใบแหลม โคนใบมน ส่วนขอบใบเรียบหรือเป็นคลื่นเล็กน้อย ใบมีขนาดกว้างประมาณ 8-10 เซนติเมตร และยาวประมาณ 11-18 เซนติเมตร แผ่นใบมีลักษณะบางนุ่ม ใบเป็นสีเขียวเหลือบแดง ส่วนใบอ่อนเป็นสีแดง

ดอกคำแสด ออกดอกเป็นช่อตั้ง โดยจะออกที่ปลายกิ่ง ในแต่ละช่อจะมีดอกย่อยประมาณ 5-10 ดอก ดอกย่อยเป็นสีขาวแกมชมพูหรือสีชมพูอ่อนๆ กลีบดอกมี 5 กลีบ ลักษณะของกลีบดอกเป็นรูปไข่ยาวและมีกลีบรองดอกขนาดเล็กสีเขียว ดอกอ่อนจะมีลักษณะกลม ผิวสีแดง ดอกมีเกสรเพศผู้จำนวนมากและมีเกสรเพศเมียอีก 1 อัน ที่รังไข่มีขนรุงรัง ภายในมีช่อง 1 ช่อง และมีไข่อ่อนอยู่เป็นจำนวนมาก

ผลคำแสด เมื่อดอกได้รับการผสมเกสรแล้วระยะเวลาหนึ่ง ดอกจะโรยและมีการติดผล ผล เป็นรูปรีปลายแหลม ยาวประมาณ 20 ซม. ส่วนใหญ่ฝักจะแก่ในช่วงเดือน ตุลาคม ถึง พฤศจิกายน ด้านในมี

ปุยดอกคล้ายนุ่น มีเมล็ดสีดำ แข็งติดอยู่กับปุยขาว ประโยชน์ของปุยนี้สามารถนำไปในการยัดไส้หมอน เหมือนต้นนุ่น ชนพื้นเมืองบางเผ่านำไปปั่นเป็นเส้นด้าย ใช้ทอผ้าพื้นเมืองที่มีคุณภาพดี แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมโดยตรง

เมล็ดคำแสด เมล็ดเป็นสีน้ำตาลแดงมีลักษณะกลม และมีเนื้อหุ้มเมล็ดเป็นสีแดงหรือสีแสด

การขยายพันธุ์ โดยการใช้เมล็ด หรือตัดกิ่งนำไปปักชำก็ได้

ประโยชน์และสรรพคุณของคำแสด

ดอก ช่วยในการบำรุงโลหิตและน้ำเหลืองให้เป็นปกติ ช่วยบำรุงหัวใจ บำรุงโลหิตระดู หรือขับระดู รวมทั้งแก้อาการแสบร้อนหรือคันตามบริเวณผิวหนัง ตลอดจนแก้พิษ บำรุงประสาท แก้บิด แก้อาการไตพิการ และแก้โรคโลหิตจาง ให้รสหวานสุขุม

เมล็ด ช่วยแก้ลม หรือโรคผิวหนังต่างๆ รวมทั้งช่วยขับระดู สมานแผล ถ่ายเสมหะ หรือจะนำมาตำพอกแก้อาการปวดบวม หรือพอกบริเวณหัวหน่าว แก้ปวดมดลูกหลังคลอดบุตร และสามารถนำมาแช่น้ำให้ตกตะกอนจะได้ผงสีส้มชื่อ Bixin ใช้สำหรับผสมอาหารและย้อมผ้า ให้รสร้อนหอม

รก (เนื้อหุ้มเมล็ด) ช่วยให้ระบายท้อง ให้รสหวานร้อนน้ำมันจากเมล็ด ใช้ทาแก้โรคอัมพฤกษ์หรืออัมพาต หรือแก้ขัดตามข้อ ให้รสร้อน

ต้นคำแสดนี้เป็นพืชสมุนไพรที่สามารถปลูกได้ในทุกภาคของประเทศไทยเลยทีเดียว นอกจากจะนำมาใช้ย้อมสีผ้าและเป็นสีผสมอาหารแล้ว ยังสามารถนำมาใช้เป็นน้ำยาขัดพื้น ขัดรองเท้า หรือเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางบางชนิดได้อีกด้วย และสีจากดอกคำแสดเป็นสีธรรมชาติเฉพาะตัวจึงปลอดภัยไม่มีสารพิษเหมือนสีที่สังเคราะห์จากสารเคมี

การใช้ประโยชน์ในงานย้อมสี

ในประเทศอินเดียใช้ส่วนของผงที่หุ้มผลสุก เรียกว่า กมลา (kamala) ย้อมผ้าไหมและผ้าขนสัตว์เป็นสีส้มจัด และมีรายงานการใช้เมล็ดคำแสดในการย้อมฝ้าย ซึ่งคุณสมบัติของสีอยู่ในระดับปานกลาง การใช้เมล็ดคำแสดในการย้อมสีเส้นไหม ใช้เมล็ดคำแสด 3 กิโลกรัม ต้มกับน้ำเพื่อสกัดน้ำสี โดยใช้อัตราส่วนต่อน้ำ 1: 10 สามารถย้อมสีเส้นไหมได้ 1 กิโลกรัม ในขณะต้มสกัดสีใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวช่วยสกัดสี ต้มนาน 1 ชั่วโมง กรองใช้เฉพาะน้ำย้อมเส้นไหมด้วยกรรมวิธีการย้อมร้อน นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นไหมที่ผ่านกรย้อมมาแช่ในสารละลายสารช่วยติดสีสารส้ม นาน 15 นาที ได้เส้นไหมสีส้มสด

เส้นไหม

รูปที่ 2.6 เส้นไหม

เส้นไหม คือ เส้นใยโปรตีนธรรมชาติ เส้นไหมประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน (Fibroin, $C_{15}H_{26}N_6O_6$) ซึ่งใช้ในการทอเป็นผืนผ้า และกาวไหม เรียกว่า เซริซิน (Sericin, $C_{15}H_{23}N_5O_8$) ที่ทำหน้าที่เป็นกาวเคลือบเส้นไฟโบรอิน ซึ่งเป็นเส้นใยต่อเนื่องจำนวน 2 เส้นให้ยึดติดกัน นอกจากนั้นคือส่วนประกอบอย่างอื่น ได้แก่ ไขมัน น้ำมัน แร่ธาตุต่างๆ และสีที่ปรากฏตามธรรมชาติ เป็นต้น องค์ประกอบหลักของเส้นไหมมีปริมาณดังนี้คือ

ไฟโบรอิน (Fibroin)	70 - 80 %
เซริซิน (Sericin)	20 - 30 %
ไขมัน แว๊กซ์ (Cere)	0.4 - 0.8 %
สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)	1.2-1.6 %
สารสี (Pigment)	0.2 %
ปริมาณเถ้า (Ash)	0.7 %

เส้นไหมเกิดจากส่วนของต่อมไหม ในช่วงระยะที่เป็นตัวหนอน ต่อมไหมมีอยู่ในตัวไหมมาตั้งแต่กำเนิด แต่จะพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงหนอนไหมวัยที่ 5 ส่วนของต่อมไหม (Silk Gland) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 5 ส่วน คือ

1. Spinneret เป็นส่วนท่อพ่นเส้นใยไหม อยู่ด้านข้างของปากไหมทำหน้าที่พ่นใยไหมออกมาภายนอกตัวหนอน เป็นตัวกำหนดขนาดความโตของเส้นไหมว่ามีขนาดเส้นโตเท่าใด ซึ่งขึ้นอยู่กับพันธุ์ไหม อุณหภูมิ และความชื้น มีส่วนเกี่ยวข้องกับขนาดความโตของเส้นด้วยเช่นเดียวกัน

2. Filippi's Gland มีอยู่สองข้างด้านในของ Spinneret ทำหน้าที่ควบคุมบังคับการพ่นเส้นใยของต่อมไหม หรือทำหน้าที่เป็นประตูเปิดปิดบังคับการพ่นเส้นใย

3. Anterior Division เป็นส่วนที่ต่อจากท่อพ่นเส้นใยไหมกับต่อมไหมส่วนกลางมีความยาว 35-40 มิลลิเมตร เส้นผ่ายศูนย์กลางท่อ 0.05-0.30 มิลลิเมตร ทำหน้าที่สร้างกาวไหม (Sericin) เคลือบส่วนของ Fibroin

4. Middle Division เป็นต่อมไหมส่วนกลาง ซึ่งเป็นส่วนใหญ่ที่สุด มีขนาดความยาว 60-65 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20-2.50 มิลลิเมตร ทำหน้าที่ผลิตสารโปรตีน Fibroin ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของเส้นไหม และต่อมไหมส่วนกลางนี้ยังมีการแบ่งเป็นสามส่วนย่อย

5. Posterior Division เป็นส่วนหลังของต่อมไหม ที่ต่อออกมาจากส่วนกลางยังไม่ทราบหน้าที่แน่ชัด มีลักษณะเป็นท่อยาว 200-250 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.40-0.80 มิลลิเมตร

เส้นไหมเมื่อยังอยู่ในตัวของหนอนไหม จะมีลักษณะเป็นของเหลวอยู่ในต่อมไหม เมื่อต่อมไหมเจริญเต็มที่จนเข้าไปเบียดส่วนของกระเพาะอาหาร ทำให้ไม่สามารถกินอาหารต่อไปได้จึงเกิดกระบวนการบีบตัวเองให้ของเหลวในต่อมไหมพ่นออกมาทางรูพ่นเส้นใยไหม การทำให้สารเหลวเปลี่ยนสภาพเป็นเส้นไหมแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 เป็นระยะเริ่มเคลื่อนสาร Fibroin ออกจากต่อมไหมส่วนหลังตอนกลาง ในระหว่างนี้หนอนไหมจะลดปริมาณน้ำออกจากสาร Fibroin จาก 84 เปอร์เซ็นต์ เหลือประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำให้สารนี้แข็งตัวขึ้น และความชื้นที่ถูกขับออกไปนี้จะถูกถ่ายออกนอกตัวไหมในรูปปัสสาวะก่อนการทำรังของหนอนไหม

ระยะที่ 2 เป็นระยะที่สาร Fibroin เคลื่อนตัวไปยังท่อพ่นไหมซึ่งเป็นรูแคบ สาร Fibroin จะถูกเป่าผ่านรู Spinneret และเกิดตกผลึกแห้งเป็นเส้นใยตามขนาดเส้นใยและรูปร่างของรูที่พ่นออกมานั้น ในขั้นนี้ Sericin มีส่วนร่วมที่สำคัญในเส้นไหม โดย Serucin จะสังเคราะห์และเคลื่อนตัวจากส่วนหน้าของต่อมไหม สาร Sericin มีส่วนประกอบของน้ำอยู่ประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ และจะเคลื่อนตัวไปยัง Spinneret พร้อมๆ กับ Fibroin โดยเคลือบอยู่รอบนอก Fibroin ทำหน้าที่สำคัญสองอย่าง คือ

1. เป็นสารหล่อลื่นให้แก่การเคลื่อนตัวของ Fibroin เพื่อลดการเสียดสีของสารนี้กับต่อมไหมเนื่องจาก Fibroin มีลักษณะค่อนข้างแห้งและมีความฝืดสูง

2. ทำหน้าที่เป็นกาวธรรมชาติ เชื่อมแตะเส้นไหมเข้าด้วยกัน เป็นรูปรัง

ลักษณะและส่วนประกอบของเส้นไหม

เส้นไหมที่หนอนไหมพ่นออกมานั้น ประกอบด้วยสาร Sericin และ Fibroin มีคุณสมบัติเป็นสารโปรตีน เกิดจากการรวมตัวของ Amino Acid หลายชนิด ซึ่งมาจากการสังเคราะห์ของต่อมไหม

คุณสมบัติของ Sericin ซึ่งผลิตได้จากต่อมไหมส่วนหน้า ทำหน้าที่เหมือนกาวและสารหล่อลื่นแก่สารซึ่งเป็นตัวเส้นไหม สารนี้จะเป็นส่วนของสีเส้นไหมในกรณีซึ่งพันธุ์ไหมนั้นๆ มีสี เช่น สีเหลือง เหลืองอมน้ำตาล เหลืองอมเขียว เป็นต้น Sericin จะละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย นอกจากส่วนของรังไหมสีเขียวจะตกสีในน้ำร้อนทั้งหมด ปริมาณของ Sericin เคลือบเส้นไหมที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดและพันธุ์ไหม เช่น ไหมพันธุ์ Bivoltine ได้แก่ พันธุ์จีน ญี่ปุ่น จะมี Sericin 20-30 เปอร์เซ็นต์ การปรับปรุงพันธุ์ไหมได้พยายามลดปริมาณของสาร Sericin ลงเพื่อให้ผลผลิตเส้นไหมสูง และสาวไหมได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังจะลดต้นทุนเกี่ยวกับสารเคมีและระยะเวลาฟอกกาวไหมให้น้อยลงด้วย การทดสอบปริมาณของ Sericin ในสมัยก่อนทำได้โดยการหาน้ำหนักของเส้นไหมไปฟอกเอากาว Sericin ออกด้วยการต้มกับสารที่มีสภาพเป็นด่าง เช่น $Ca(OH)_2$, NaOH เป็นต้น และนำกลับมาชั่งน้ำหนักที่ขาดหายไป คือ สาร Sericin แต่ในปัจจุบันการตรวจสอบสาร Sericin ทำได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้น โดยการส่องด้วยรังสีเอ็กซ์เรย์ และรังสีอินฟาเรด เป็นต้น

คุณสมบัติของ Fibroin ผลึกโปรตีนนี้เกิดจากการรวมตัวของ Amino Acid พวก Glycine, Alamine และ Serine ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นเป็น Turorine และสารอื่นอีกเล็กน้อย สาร Fibroin เป็นผลึกแข็งทนต่อการซักล้าง เป็นสิ่งที่นำมาใช้ประโยชน์ในการทอเป็นผืนผ้า โดยปกติสาร Fibroin เป็นสีขาวขุ่น ไหมผลิตจากต่อมไหมส่วนในปริมาณมากเพียงใดขึ้นอยู่กับพันธุ์ไหม และการเอาใจใส่เลี้ยงดู

ประเภทเส้นไหม

เส้นไหมนั้นเกิดจากส่วนของต่อมไหม ต่อมไหมมีอยู่ในตัวหนอนไหมมาตั้งแต่กำเนิด แต่จะพัฒนาอย่างรวดเร็วในช่วงหนอนไหมวัย 5 เส้นไหมเมื่อยังอยู่ในต่อมไหมจะมีลักษณะเป็นของเหลว เมื่อต่อมไหมเจริญเต็มที่จนเข้าไปเบียดส่วนของกระเพาะอาหาร จะทำให้หนอนไหมไม่สามารถกินอาหารต่อไปได้ ต่อมไหมจะเกิดกระบวนการบีบตัวเองให้ของเหลวที่อยู่ข้างในพ่นออกมาทางรูพ่นเกิดเป็นเส้นใยไหมขึ้น

การสาวไหม จะทำการสาวไหมโดยการแยกเปลือกรังชั้นนอกและชั้นใน ทำให้ได้เส้นไหม ประเภทต่างๆ คือ

1. เส้นไหมหลีบ หรือไหมเปลือก

เป็นเส้นไหมที่ได้จากรังไหมชั้นนอก รวมทั้งปุยไหม นิยมใช้เป็นเส้นพุ่งในการทอผ้าและพิธีกรรมต่างๆ ลักษณะเส้นไหมจะใหญ่มาก มีปุ่มปม และเนื้อหยาบแข็ง เนื่องจากมีกาวไหมเยอะเมื่อสาว

เอาไหมหลีบออกจากรังไหมแล้วจะตักรังไหมออกจากหม้อต้มมาพักไว้ก่อน จากนั้นจึงจะนำรังไหมนั้นไปสาวเอาไหมน้อย หรือไหมเครือต่อไป

2. เส้นไหมสาวเลย หรือเส้นไหมรวด

เป็นเส้นไหมที่ได้จากการสาวควบกันทั้งปุยและเส้นใยส่วนนอกของรังไหมไปจนถึงเส้นใยส่วนในของรังไหมให้เสร็จในคราวเดียวไม่แบ่งชั้นของไหม เส้นไหมที่สาวได้จึงมีทั้งส่วนที่เป็นไหมหลีบและไหมน้อยรวมอยู่ด้วยกัน เส้นไหมจึงไม่เรียบ หยาบ และมีขนาดไม่สม่ำเสมอ แต่ถ้าผู้สาวไหมที่มีชำนาญมากจะสาวได้เส้นไหมที่สม่ำเสมอดีเกือบเท่าไหมน้อยเลย ไหมสาวเลยนี้ปัจจุบันไม่เป็นที่ต้องการของตลาด เพราะเมื่อนำมาทอเป็นผ้าจะได้ผ้าไหมที่ไม่สวยเรียบเหมือนไหมน้อย

3. เส้นไหมน้อย หรือไหมเครือ หรือไหมยอด

เป็นเส้นไหมที่ได้จากเปลือกรังไหมชั้นในหลังจากสาวเอาไหมหลีบหรือไหมเปลือกออกไปแล้ว การสาวเอาไหมน้อยนั้นจะต้องเปลี่ยนน้ำต้มก่อนจึงนำรังไหมลงต้ม เส้นไหมที่ได้จะมีลักษณะเส้นเรียบขนาดสม่ำเสมอ สีสม่ำเสมอ รวมตัวกลม สะอาดไม่มีสิ่งปลอมปน นุ่มมือเมื่อสัมผัส นิยมใช้เป็นเส้นยืนในการทอผ้า เมื่อทอเป็นผืนผ้าแล้วเนื้อผ้าจะนุ่ม เรียบ มีความเลื่อมมันของเส้นไหมในระดับดีมาก มีความนุ่มนวลดี เส้นไหมมีความเหนียวสามารถนำมาทำเป็นเส้นยืนและเส้นพุ่งได้ ระดับความสม่ำเสมอของสีเส้นไหมดี สีเส้นไหมเป็นสีเหลืองทอง

4. เส้นไหมแลง

เป็นเส้นไหมที่อยู่เปลือกรังไหมชั้นในสุดจนเกือบจะถึงตัวดักแด้ เส้นไหมจะมีขนาดเล็ก นิยมนำไปทอเป็นผ้าขาวม้า ที่เรียกว่า ไหมแลง เนื่องจาก สมัยก่อนการสาวไหมนั้นชาวบ้านจะนิยมทำในตอนเช้า เมื่อสาวเอาไหมน้อยไปแล้ว แต่ยังเห็นว่าพอจะสาวเอาเส้นไหมออกจากรังไหมได้อีก ก็จะนำรังไหมนั้นมาต้มและสาวเอาเส้นไหมอีก ซึ่งมักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาเย็นหรือยามแลงของวันที่สาวแล้ว จึงเรียกว่าไหมแลง

เส้นไหมที่ใช้สำหรับการทอผ้า

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นไหมยืน และเส้นไหมพุ่ง

1. เส้นไหมยืน คือ เส้นไหมเรียบ (Raw silk) เป็นเส้นไหมที่ต้องนำมาตีเกลียวอีกครั้งหนึ่ง เช่น เส้นไหมขนาด 20/22 ดีเนียร์ จำนวน 3 เส้น หรือ 4 เส้น นำมาควบเพื่อตีเกลียวให้มีจำนวนเกลียว 330 เกลียวต่อเมตร ไหมเรียบเมื่อนำมาควบและตีเกลียวแล้วเรียกว่า ไหมควบ (Thrown Silk) มีหลายขนาด เช่น 20/22/3, 20/22/4 และ 18/20/6 ดีเนียร์ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างผ้าที่ต้องการทอ เส้นไหมยืนอีกประเภทหนึ่ง คือ ไหมออร์แกนซิน (Organizen Silk) ตัวอย่าง เช่น เส้นไหมขนาด 20/22/4 Z850/S700 หมายถึงเส้นไหมเรียบขนาด 20/22 ดีเนียร์นำมาควบ 2 เส้นและตีเกลียว Z ให้มีจำนวนเกลียว 850 เกลียวต่อเมตร แล้วนำเส้นไหมที่ได้จากการตีเกลียว Z จำนวน 2 เส้นมาควบและตีเกลียว S อีกครั้งหนึ่งให้มีจำนวนเกลียว 700 เกลียวต่อเมตร เส้นไหมออร์-แกนซินมีหลายขนาด เช่นเดียวกันเมื่อควบตีเกลียวและอบเกลียวให้อยู่ตัวแล้ว จึงนำไปฟอกกาวและย้อมสีก่อนที่จะนำให้เป็นเส้นยืน

2. เส้นไหมพุ่ง มี 2 ประเภท คือ เส้นไหมเส้นเดียวแต่มีขนาดใหญ่ ที่นิยมใช้กันมาก คือ ขนาด 150-200 ดีเนียร์ เช่น เส้นไหมดูเปี้ยน (Dupion Silk) และเส้นไหมพื้นเมืองหรือไหมสาวมือ อีกประเภทหนึ่ง คือ เส้นไหมควบตีเกลียว โดยการนำเส้นไหมดิบ (Raw Silk) หลายเส้นมาควบตีเกลียวให้มีจำนวนเกลียวประมาณ 150-180 เกลียวต่อเมตร เพราะการที่จะสาวไหมให้ได้เส้นเดียวขนาดใหญ่ เช่น 150-200 ดีเนียร์ นั้น มีปัญหาทางด้านการควบคุมความสม่ำเสมอของเส้นไหม ดังนั้นการใช้ไหมเส้นเล็กหลายเส้นมา

ควบตีเลียวให้มีขนาดใกล้เคียงกับเส้นไหม เส้นเดียวขนาดใหญ่จะมีความสม่ำเสมอดีกว่า แต่ก็ให้คุณลักษณะของเนื้อผ้าที่แตกต่างกัน ถ้าพูดถึงเส้นไหมพุ่งโดยทั่วไปจะหมายถึง เส้นไหมเส้นเดียวที่มีขนาดใหญ่ แต่เวลาทอจะควบ 2 เส้น 4 เส้น เป็นต้น โดยไม่ตีเกลียวแล้วเรียกผ้าไหมชนิดนี้ว่าเป็นผ้าไหม 2 เส้น หรือ ผ้าไหม 4 เส้น ถ้าเป็นผ้าไหมเนื้อหนาสำหรับทำผ้าม่านหรือบุเฟอร์นิเจอร์ก็อาจควบมากกว่า 6 เส้น

สมบัติของเส้นใยไหม

ใยแต่ละชนิดจะมีสมบัติของเส้นใย (Fiber Properties) แตกต่างกัน ประกอบไปด้วยสมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1. สมบัติทางเคมี (Chemical Properties)

1.1 ปฏิกิริยาต่อเปลวเพลิง เส้นใยแต่ละชนิดจะมีปฏิกิริยาต่อเปลวเพลิง และเคมีแตกต่างกัน ทำให้สามารถจำแนกชนิดของเส้นใยได้ จากการเผาไหม้ โดยสังเกตจาก ปฏิกิริยาของเส้นใยเมื่อเข้าใกล้เปลวเพลิง เมื่ออยู่ในเปลวเพลิง เมื่อนำออกจากเปลวเพลิง และลักษณะของเถ้าถ่านโดยเส้นไหมเมื่อเข้าใกล้เปลวไฟ จะหดตัวหนีไฟ ลุกไหม้ช้าๆ ดับเองได้ เมื่อเผาไหม้จะมีกลิ่นฉุนเหมือนเส้นผมไหม้ไฟ เถ้าถ่านเป็นก้อนเม็ดกลมดำบีบแตกเป็นผงถ่าน

1.2 ปฏิกิริยาต่อตัวทำละลาย เส้นใยไหม จะละลายในกรดซัลฟูริก ที่มีความเข้มข้น 59 % ขึ้นไป ไม่ละลายในตัวทำละลาย กรดอะซีติก (กรดมด) กรดฟอมิกส์ และกรดไฮโดรฟลูออริก

2. สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

เส้นใยไหม เป็นเส้นตรงไม่กลม ผิวเรียบ มีลายแตกตามยาว ส่วนใหญ่รูปคล้ายสามเหลี่ยมมุมโค้งมน ไม่ยืดหยุ่น

การฟอกย้อมด้วยวัสดุธรรมชาติ

เส้นไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทเส้นใยโปรตีน ประกอบด้วยเส้นไหมชั้นในซึ่งเป็นเส้นไหมแท้ที่ไม่ละลายน้ำร้อน และเส้นไหมชั้นนอกเป็นชั้นกาวไหมจะถูกทำลายได้ง่ายในสภาพด่าง (น้ำด่าง) กาวไหมจะละลายและหลุดออกได้ดีในน้ำร้อน (เดือด) แต่น้ำด่างเข้มข้นที่ร้อนจนเดือดจะทำลายเส้นไหมแท้ชั้นในด้วย ดังนั้นไม่ควรลอกกาวด้วยน้ำด่างที่เดือดจะทำให้เส้นไหมหดตัวและแตกฟูปกติกาวไหมจะติดสีเร็วและติดสีเข้มดีกว่าไหมแท้ (ไหมชั้นใน) แต่สีจะหลุดออกพร้อมๆ กับกาวได้ง่าย ถ้าลอกกาวออกไม่ดีมีกาวเหลืออยู่ เมื่อนำไปย้อมสี สีจะหลุดออกและทำให้สีเส้นไหมด่าง ดังนั้น ในขั้นตอนการลอกกาวไหมควรต้องลอกกาวออกให้หมด และลอกกาวออกให้สม่ำเสมอเพื่อป้องกันการย้อมสีที่ด่าง

ขั้นตอนการฟอกย้อมสีเส้นไหม

1. การเตรียมเส้นไหม และลอกกาวไหม
2. การคัดเลือกวัตถุดิบ และอุปกรณ์เพื่อย้อมสี
3. การสกัดน้ำสีย้อมจากวัตถุดิบ
4. การย้อมสีไหม

การเตรียมเส้นไหมเพื่อย้อมสี

วิธีการเตรียมไจไหม เพื่อไม่ให้เส้นไหมพันกันระหว่างการต้มทำความสะอาดและลอกกาวได้สม่ำเสมอ ดังนี้

1. คัดเลือกเส้นไหมที่เป็นชนิดเดียวกัน สีใกล้เคียงกัน มีขนาดเส้นและวงเข็ดเท่ากัน
2. ทำไพไหม ควรแบ่งมัดอย่างน้อย 4 ช่วง เพื่อรักษารูปทรงของเข็ดไหม

3. ขยายไพไหม และมัดปลายเส้นด้ายให้ยาวจากเข็ดไหมประมาณ 1 คืบ หรือ 8 – 10 เซนติเมตร เพื่อจะให้เส้นไหมกระจายดี ไม่พันกันในขณะลอกกาวและลอกกาวได้สม่ำเสมอ ถ้าไจไหมไม่สม่ำเสมอ ควรแยกใส่คนละห่วงย้อม และให้ฟอกกาวได้ง่าย ฟอกกาวออกสม่ำเสมอ การมัดไพไหมกว้างเส้นไหมกระจายตัวดี ท้าให้ฟอกกาวได้ง่าย และไหมไม่พันกัน

การลอกกาวไหมด้วยน้ำด่างธรรมชาติ

ขี้เถ้าที่นิยมใช้ทำน้ำด่างลอกกาว ได้แก่ ขี้เถ้าจากผักโขมหนาม เปลือกฝักนุ่น เปลือกฝักงิ้ว เปลือกมะพร้าว เหง้ากล้วย ขี้เถ้ารวมจากเตาเผา(ต้องไม่มีน้ำมัน) ขี้เถ้าไม้ต่างๆ (ต้องเลือกไม้ที่ไม่ผุ) หรือขี้เถ้าจากเตาเผาถ่านโดยขี้เถ้าทั้งหมดนั้นจะต้องไม่รดน้ำหรือไม่โดนน้ำเลย

การเตรียมน้ำด่าง

1. ร่อนขี้เถ้าด้วยตาข่าย เลือกเอาเศษถ่าน เศษไม้ออก

2. เจาะรูที่ก้นภาชนะ (ถังพลาสติก) น้ำขี้เถ้าที่ร่อนแล้ว อัดลงในถังพลาสติก หรือภาชนะที่เจาะรูไว้ให้แน่นประมาณค่อนถัง หรือ 3 ใน 4 ของถัง

3. นำถังที่อัดขี้เถ้าแล้ววางซ้อนบนถังเปล่าอีกใบหนึ่ง

4. ค่อยๆ เติมน้ำลงบนขี้เถ้าจนน้ำท่วมเหนือขี้เถ้า ประมาณ 1 นิ้ว รอจนกว่ามีน้ำหยดลงถังที่รองรับอยู่ด้านล่าง จึงเติมน้ำเพิ่มในถังขี้เถ้าจนเต็มถัง รองเก็บน้ำด่างไว้ใช้ต่อไป วิธีนี้มักได้น้ำด่างน้อยแต่เข้มมาก เหมาะสำหรับใช้ก่อหม้อคราม ถ้าจะใช้ลอกกาวไหม ต้องเติมน้ำเพิ่ม เพื่อให้น้ำด่างเจือจางลง หรืออาจใช้วิธีกรองด้วยผ้าโดยผสมน้ำในขี้เถ้าให้น้ำท่วมขี้เถ้า แล้วตักใส่ในผ้าด้ายดิบที่ผูก 4 มุม แขวนไว้เหนือภาชนะ น้ำด่างจะค่อยๆ ไหลผ่านผ้าลงภาชนะที่รองรับด้านล่าง ให้เติมน้ำในขี้เถ้าจากการกรองครั้งแรกแล้วกรองน้ำด่างเพิ่มได้อีก

การลอกกาวไหม

1. เติมน้ำผสมน้ำด่างที่เตรียมไว้ ถ้าน้ำด่างเข้มข้นมาก อาจเติมน้ำ 3 ถึง 5 เท่าของน้ำด่าง

2. น้ำเส้นไหมดิบที่ทำไพไหมดีแล้วแช่ลงในน้ำด่าง ให้เส้นไหมจมใต้น้ำด่างทั้งหมดไม่ต้องตั้งไฟ ระหว่างแช่ให้กลับไหมและหมั่นสังเกต เมื่อเส้นไหมอ่อนตัว นุ่ม มีลักษณะเป็นเมือก ให้ยกขึ้น แต่ถ้าแช่เส้นไหมเป็นระยะเวลานานแล้วเส้นไหมยังไม่อ่อนตัวหรือนุ่มให้ยกเส้นไหมออกมาพักไว้ แล้วนำน้ำด่างไปตั้งไฟให้พออุ่นแล้วจึงยกภาชนะน้ำด่างนั้นลงมาแล้วนำเส้นไหมลงแช่ จนกระทั่งเส้นไหมอ่อนตัว

3. ต้มน้ำในภาชนะปากกว้างที่เป็นสแตนเลสหรือภาชนะเคลือบ เมื่อน้ำเดือดให้นำเส้นไหมที่แช่น้ำด่างได้ที่แล้วไปลวกในน้ำที่กำลังเดือดจัด หมั่นพลิกเส้นไหมให้สัมผัสกับน้ำร้อนให้ทั่ว กาวไหมจะละลายออกมาในน้ำเดือดและเส้นไหมจะกลายเป็นสีครีม (สีมันปู)

4. ล้างเส้นไหมในน้ำร้อนอีกครั้งหนึ่ง แล้วผึ่งให้เย็นลง

5. ล้างด้วยน้ำสะอาดอีก 2 – 3 ครั้ง แล้วบิดให้พอหมาด กระตุกให้เส้นไหมเรียงตัวใส่ราวตาก ถ้าต้องการลอกกาวเส้นไหมเพื่อย้อมสีอ่อน ให้ผสมสบู่ขาวในน้ำในน้าร้อนที่ล้างเส้นไหม (ตามข้อ 4) จากนั้นล้างด้วยน้าอุ่นอีกครั้งให้คราบสบู่หลุดออก แล้วจึงล้างด้วยน้าจนสะอาด

การย้อมสี

การย้อมสีบนวัสดุสิ่งทอ มีทฤษฎีที่สำคัญๆ ได้แก่

1. ทฤษฎี Free Volume Model เป็นทฤษฎีที่ใช้กับเส้นใยสังเคราะห์ กำหนดว่าวัสดุสิ่งทอพวกเส้นใยสังเคราะห์จะไม่มีรูพรุนไม่ดูดน้ำย้อมได้มากนักการย้อมจะต้องทำให้วัสดุสิ่งทอเกิดการอ่อนตัว (Plastic) ที่จุ ดGlass Transition Temperature (Tg) เป็นอุณหภูมิที่วัสดุสิ่งทอยังไม่หลอมละลายแต่จะมีลักษณะอ่อนตัว คล้ายพลาสติกที่มีความหนืดสูง น้ำย้อมสีจะแทรกซึมเข้าไปในส่วนที่ไม่เป็นระเบียบเท่านั้น เช่นการย้อมพอลิเอสเตอร์ที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น

2. ทฤษฎี Pore Model เป็นทฤษฎีที่ใช้กับการย้อมสีเส้นใยธรรมชาติโดยกำหนดว่า วัสดุสิ่งทอจะมีรูพรุนคล้ายกับฟองน้ำน้ำสีย้อมสามารถแทรกซึมตามรูพรุนเหล่านั้นได้ตามปรากฏการณ์ซึมตามรูเล็ก (capillary rise action) ในการย้อมสีเส้นใยตามทฤษฎี Pore Model จะต้องใช้สีย้อม

สีย้อม (dye)

เป็นสารเคมีที่มีสมบัติดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้คือ อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400 – 750 นาโนเมตร สีที่ปรากฏจะเป็นสีเติมเต็มของสีที่ถูกดูดกลืน การแบ่งชนิดของสีย้อมจะแบ่งออกตามแหล่งกำเนิด คือ

1. สีย้อมธรรมชาติ (Natural Dyes) เป็นสารอินทรีย์ที่มีในพืชหรือสัตว์ หรือสารอนินทรีย์จากแร่ธาตุ

สีจากแร่ธาตุ (Mineral Dyes) เป็นสารอนินทรีย์ ที่เป็นออกไซด์ของโลหะ หรือ สารเชิงซ้อน เป็นสีที่เกิดจากสารมี Covalent Character เพิ่ม มีความคงทนต่อแสงได้ดี เช่น Lead (II) Chromate มีสีเหลือง ออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียมให้สีกากี เป็นต้น

สีจากสัตว์ (Animal Dyes) เป็นสารอินทรีย์ ที่มีสี ได้แก่ Cochineal มีสีแดง - ส้ม Kermes มีสีแดง และแดง – ส้มและครั่ง (Lac) มีสีแดง

สีจากพืช (Plant Dyes) มักเป็นสารอินทรีย์ที่มีสี เช่นสีน้ำเงิน จากพรรณไม้สกุลคราม (Indigofera spp.) ย่อมสีเหลืองจากหญ้าฝรั่น ขมิ้นสีแดงจาก ครั่ง หรือ Rubia Cordifolia L. สีน้ำตาลจากนนทรี เป็นต้น

2. สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic Dyes) เป็นสารเกิดจากการสังเคราะห์ด้วยกรรมวิธีทางเคมี สีย้อมสังเคราะห์ที่ค้นพบครั้งแรกปี พ.ศ. 2399 โดยเพอร์กิน (William Perkin) แห่ง Royal College of Chemistry ในนครลอนดอน ทำการสังเคราะห์สีม่วง ชนิด Aniline Purple โดยการออกซิไดส์ Aniline ด้วยพอแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้สารสีดำ แล้วสกัดด้วยเมทิลแอลกอฮอล์ได้สารละลายสีม่วงใส เป็นสารที่รู้จักกันว่า Mouvine ที่มีสีม่วง หลังจากนั้นมีการสังเคราะห์อื่นๆ ขึ้นมาใช้ในการย้อมสีเส้นใยผ้าอีกมากมายจนถึงปัจจุบัน

สีย้อมธรรมชาติ อาจแบ่งออกเป็นกลุ่มสี 6 กลุ่มสี ดังนี้

1. กลุ่มสีเฟลโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นรงควัตถุสีเหลือง มีสารจำพวก Flavones เช่น Luteolin Quercetin และ Kaempferol และสารจำพวก Flavonols เช่น Chlorflavonin

2. กลุ่มสีแอนโทไซยานิน (Anthocyanins) เป็นรงควัตถุสีชมพู แดง ม่วง จนถึงสีน้ำเงิน พบในกลีบดอกและส่วนอื่นๆ ของพืช เช่น กลีบเลี้ยง ใบ เปลือก ผล เช่น ดอกกุหลาบ ดอกอัญชัน ดอกเข็มแดง มีสมบัติในการเปลี่ยนสีในสภาพความเป็นกรด – เบส ที่มีค่า pH ต่างๆ ในสารละลายที่เป็นกรดแอนโทไซ

ยานินจะมีสีแดงแกมส้ม ในสารละลายที่เป็นเบสจะมีสีม่วงน้ำเงิน จึงสามารถใช้เป็นอินดิเคเตอร์บอกความเป็นกรด – เบสได้ สารที่สำคัญในกลุ่มสีนี้ ได้แก่ Pelargonidin Delphinidin ในดอกของพืชบางชนิด เช่น บานเย็น หงอนไก่ เฟื่องฟ้า สารที่ให้สีเป็นสารพวก β- Cyanins ถ้าเป็นสาร Aglycone เรียกว่า Anthocyanidins

3. กลุ่มสีแซนโทน (Xanthones) เป็นรงควัตถุสีเหลือง เหมือนกลุ่มสีเฟลโวนอยด์ เป็นอนุพันธ์ของ benzophenone สารที่สำคัญในกลุ่มสีนี้ คือ Gentish และ Mangiferin ซึ่งเป็น Glycoside

4. กลุ่มสีแอลคาลอยด์ (Alkaloids) มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Indigo ให้สีน้ำเงินได้จากต้นคราม Tyrain ให้สีม่วงแดง ได้จากเปลือกหอยหนามในทะเลเมดิเตอเรเนียน

5. กลุ่มสีควิโนนอยด์ (Quinonoids) มีพบมากในธรรมชาติ แบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ เป็น กลุ่ม Anthaquinone ให้สีแดง เช่น Alzirin จากเข็มและแก่นต้นยอ Laccaic cid จากครั่ง กลุ่ม Naphthaquinone เช่น Juglone จากเปลือกมันฮ่อให้สีเขียวถึงน้ำตาล Lawsone จากใบเทียนให้สีน้ำตาลแดง Alkanin จากต้น Alkanet ให้สีแดง เป็นต้น

6. กลุ่มสีพอลิอีน (Polyenes) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มี Poly Conjugated Double Bond ได้แก่ พวกสาร Terpenoids และ Isopenoids ซึ่งเป็นสาร Isopentene เช่น Carotenoids ที่มีคาร์บอน 40 อะตอม สารในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารสีเหลือง Crocetin ในหญ้าฝรั่น สารสีส้มแดง Bixin ในเมล็ดคำแสด และ β - Carotene ซึ่งมีสีส้มแดง ในหัวแครอต เป็นต้น

ในพืชยังมีกลุ่มสารชนิดหนึ่งที่สามารถให้สีได้ เรียกว่า **แทนนิน** (Tannins) เป็นสารประเภท Polyphenols ส่วนใหญ่อยู่ในรูป Glycoside มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โครงสร้างซับซ้อน แยกให้เป็นสารบริสุทธิ์ได้ยาก แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. แทนนินแท้ (True Tannins) เป็นแทนนินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มวลโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1,000 – 5,000 มี 2 กลุ่มย่อย คือ

1.1 แกลโลแทนนิน (Gallotannins) หรือไพโรแกลลอนแทนนิน (Pyrogallon tannins)เป็นสารที่มี Polyhydric สามารถถูกสลายได้ด้วยน้ำร้อน สารละลายกรด หรือเอนไซม์แทนเนส (Tannase) มีลักษณะเป็นอสัณฐานสีเหลือง – น้ำตาล มีรสฝาด เมื่อทำปฏิกิริยากับ Iron (III) Chloride จะได้สีน้ำเงิน แทนนินชนิดนี้ เช่น Ellagic acid พบในโกฐน้ำเต้า กลีบกุหลาบ เปลือกและผลทับทิม ใบยูคาลิปตัส เป็นต้น

1.2 แคตทีชินแทนนิน (Catechin Tannins) หรือโฟลบาแทนนิน (Phloba Tannins) เป็นพอลิเมอร์ของ สารประกอบฟีนอล เกิดจากการควบแน่นของ Catechin กับ Flavan Diol มีสีแดงไม่ละลายน้ำ เรียกว่า สาร Phlobaphenes พบใน เปลือกอบเชย เปลือกไม้โอ๊ค ใบชา เปลือกสีเสียด

2. แทนนินเทียม (Pseudotannins) เป็นแทนนินที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก มีสมบัติบางอย่างคล้ายกับแทนนินแท้ ได้แก่ Gallic acid, Catechin, Chlorogenic acid เป็นต้น พบในเปลือกสีเสียด เมล็ดกาแฟ เมล็ดแสลงใจ เป็นต้น

การสกัดสารที่ให้สีจากพืชทำได้หลายวิธี เช่น

1. Merceration เป็นการสกัดสารโดยการหมักพืชกับตัวทำละลายในภาชนะปิด ทิ้งไว้ 7 วัน โดยทำการเขย่าหรือคนบ่อยๆ แล้วทำการรินสารที่สกัดออกทำการบีบเอาสารสกัดออกจากกากพืชให้ได้มากที่สุด รวบรวมสารที่สกัดได้ไปกรอง ต้องทำการสกัดหลายๆ ครั้ง โดยไม่มีการใช้ความร้อน แต่วิธีนี้สิ้นเปลืองตัวทำละลายมาก

2. Percolation เป็นการสกัดแบบต่อเนื่องด้วย Percolator โดยนำพืชตัวอย่างมาบดให้ละเอียดหมักกับตัวทำละลายแล้วค่อยๆ ใส่พืชตัวอย่างลงไปใน Percolator แล้วเติมตัวทำละลายลงไปให้มีระดับสูงกว่าพืชตัวอย่างครึ่งเซนติเมตร ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง เพื่อให้พืชพองตัวเต็มที่ แล้วบีบเอาสารสกัดออกให้มากที่สุด

3. Soxlet Extraction เป็นการสกัดแบบต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายจุดเดือดต่ำ ที่ถูกให้ความร้อนจนระเหยเป็นไอแล้วกลั่นตัวลงไปราดลดบนพืชตัวอย่างที่ใส่ไว้ใน Thimble เมื่อตัวทำละลายมีระดับสูงขึ้นจนล้นและถูกดูดลงไปยังขวดรูปชมพู่ที่ใส่ตัวทำละลายไว้ โดยตัวทำละลายได้สกัดสารออกมาด้วย

4. Liquid – Liquid Extraction เป็นการสกัดด้วยตัวทำละลายซึ่งเป็นของเหลว 2 ชนิด ที่ไม่ละลายเข้าด้วยกัน จะแยกเป็นชั้นออกจากกัน เมื่อนำพืชมาบดและใส่ลงในตัวทำละลายดังกล่าว สารที่ถูกสกัดออกมาจะละลายในตัวทำละลายทั้งสอง ทำให้สามารถสกัดสารออกมาได้มากกว่าการใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว

กระบวนการย้อมสี (Dying) มี2 วิธี คือ

1. การย้อมโดยตรง (Direct Dying) เป็นการย้อมโดยการละลายสีย้อมในตัวทำละลาย เช่น น้ำ แล้วนำไปต้ม หรือละลายสีในตัวทำละลายอุ่นๆ จุ่มเส้นใยลงไปแช่ทิ้งไว้ ให้เส้นใยดูดซับสีเข้าไปในเส้นใย แล้วเติมสารช่วยติดสี เช่น เกลือแกง เกลือโซเดียมซัลเฟต เพื่อให้สีย้อมติดเส้นใยได้ดีและทนทาน

2. การย้อมร่วมกับมอร์แดนต์ (Mordant Dyeing) มี 3 วิธี คือ

2.1 ย้อมมอร์แดนต์ก่อน (Pre-mordant Dyeing) เป็นการย้อมโดยแช่เส้นใยลงสารละลายของมอร์แดนต์ก่อน แล้วจึงค่อยนำเส้นใยไปย้อมสีด้วยการต้มเกลือในสารทำละลายสีที่อุ่น

2.2 ย้อมมอร์แดนต์พร้อม (Simultaneous Mordant Dyeing) เป็นการย้อมโดยผสมมอร์แดนต์ลงในสารละลายสีและต้มกับเกลือในก่อน แล้วจึงค่อยแช่เส้นใยลงไปย้อมสี

2.3 ย้อมมอร์แดนต์หลัง (Post-mordant Dyeing) เป็นการย้อมเส้นใยในน้ำย้อมสีที่ต้มกับเกลือในสารทำละลายสีก่อน แล้วจึงนำเส้นใยที่ย้อมสีแล้วไปแช่ในสารละลายมอร์แดนต์

อุปกรณ์ในการย้อม ประกอบด้วย

หม้อย้อมควรใช้หม้อสแตนเลสหรือหม้อเคลือบ หรือกระทะใบบัว ไม่ควรใช้หม้ออะลูมิเนียม และควรเลือกขนาดให้เหมาะสมกับการย้อมผ้า เส้นไหม หรือเส้นด้ายฝ้าย

ไม้กวนผ้าหรือเส้นด้ายควรทำด้วยไม้ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะรับน้ำหนักเส้นด้ายเปียกในหม้อย้อมได้

กะละมังหรือถังพลาสติก สำหรับล้างผ้าหรือเส้นด้ายก่อนย้อมและหลังย้อม

เตาไฟจะเป็นเตาถ่านเตาฟืนหรือเตาแก๊สก็ได้

ขั้นตอนการย้อมสี

1. เตรียมวัตถุให้สี เช่น เปลือก เนื้อ แก่น ราก กิ่ง หรือใบไม้ทุกชนิด โดยสับให้ละเอียด ผลเมล็ด หรือเหง้าใต้ดิน หรือครั่ง ต้องนำมาตำให้ละเอียดจากนั้นนำมาใส่ในหม้อย้อมเติมน้ำให้ท่วมวัตถุให้สีและให้

น้ำท่วมผ้าหรือเส้นด้ายด้วยในตอนย้อม แช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืนจะช่วยให้การสกัดสีทำได้ง่าย พืชสดให้ใช้น้ำหนักประมาณ 4 เท่า ถ้าเป็นพืชแห้งใช้ประมาณ 2 เท่าของน้ำหนักผ้าหรือเส้นด้าย

2. การเตรียมน้ำย้อม จากนั้นก็นำมาต้มให้เดือดอย่างน้อยประมาณ 1 ชั่วโมง หรือสังเกตดูว่าน้ำย้อมสีในหม้อย้อมเข้มข้นได้ที่แล้วก็ให้กรองเอาแต่น้ำย้อมสีเพื่อไปใช้ในการย้อม

3. การย้อม ให้นำน้ำย้อมสีที่กรองเรียบร้อยไปต้มให้เดือดอ่อนๆ อีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนนี้ถ้าต้องการใส่สารช่วยย้อมพร้อมกับการย้อมให้เลือกใส่สารช่วยย้อมที่ต้องการ เช่น เกลือแกง สารส้มปั่น น้ำด่าง น้ำกรดจากพืชที่มีรสเปรี้ยว น้ำพืชที่ให้แทนนิน โดยนำพืชไปต้มในน้ำเปล่า 30 นาที ก่อนแล้วจึงกรองน้ำนำมาใช้ โดยใช้ในปริมาณที่กำหนดใส่ลงในหม้อสีย้อมผ้า คนให้ละลายให้เข้ากับสีย้อม

จากนั้นให้นำผ้าหรือเส้นด้ายที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว (ควรแช่น้ำให้เปียกแล้วบิดให้หมาดก่อนย้อมทุกครั้ง เพราะจะทำให้เส้นด้ายสามารถดูดน้ำสีย้อมได้ดีและเร็วขึ้น และทำให้สีติดที่เส้นใยได้ง่าย) ใส่ลงไป ต้มนานประมาณครึ่งชั่วโมง หรือสังเกตดูว่าสีติดที่ผ้าหรือเส้นด้ายเข้มอย่างที่เราต้องการ แต่คอยหมั่นกลับผ้าบ่อยๆ เพื่อให้สีซึมเรียบสม่ำเสมอและคอยยกผ้าให้โดนอากาศบ้างจะช่วยให้สีติดง่ายและติดทนขึ้น จากนั้นยกหม้อลงแช่ทิ้งไว้ให้เย็น พืชบางอย่างทิ้งไว้ 1 คืน จะช่วยให้สีติดดีขึ้น

ถ้าต้องการใส่สารช่วยย้อมในการย้อมผ้า หลังย้อมให้ละลายสารช่วยย้อมที่ต้องการตามปริมาณที่กำหนด ถ้าเป็นสารเคมีควรละลายในน้ำอุ่นก่อนเพื่อให้ละลายได้ดีขึ้น นำผ้าที่ผ่านการย้อมสีบิดให้หมาดกระตุกให้ตึง 2-3 ครั้ง จึงนำมาขยำในน้ำสารประกอบที่เตรียมไว้ด้วยเวลาที่ขึ้นอยู่กับความต้องการสีเข้มหรือจางประมาณ 15-30 นาที แต่ถ้าเป็นแทนนินจากพืชจะใช้เวลาน้อย เช่น การย้อมฝางแล้วนำมาย้อมต่อในน้ำมะเกลือจะใช้เวลาประมาณครึ่งนาที จะเปลี่ยนเป็นสีชมพูเป็นสีบานเย็น ถ้านานกว่านี้สีจะเข้ม จากนั้นนำไปบิดให้หมาดกระตุกให้ตึง 2-3 ครั้ง ผึ่งให้แห้ง จากนั้นนำมาผ้ามาซักในน้ำสะอาดจนน้ำใสแล้วนำไปสะบัด ใช้แขนสองข้างดึงเส้นด้ายแล้วกระตุกให้ตึง 2-3 ครั้ง นำไปตากในที่ร่มหรือกลางแดด

การย้อมซ้ำ

ถ้าสีที่ย้อมเสร็จแล้วยังได้สีที่จางหรือมีรอยด่าง เนื่องจากสีติดไม่เสมอกันก็สามารถแก้ไขได้โดยนำไปย้อมซ้ำสีเดิมก็ได้สีที่เข้มและมีความคงทนมากขึ้นหรือจะเปลี่ยนเป็นสีอื่นย้อมทับกันก็ได้จะให้สีใหม่ที่แปลกตา ในการย้อมแต่ละครั้งควรจดข้อมูลและเก็บตัวอย่างผ้าไว้ทุกครั้งเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการย้อมครั้งต่อไป ซึ่งเมื่อได้ผ้าที่ต้องการแล้วสามารถนำไปทดสอบหาความทนต่อแสงอย่างง่ายๆด้วยการตัดตัวอย่างผ้ามาชิ้นเล็กๆ นำวัสดุทึบแสงมาปิดที่ ผ้าตัวอย่างครึ่งหนึ่งแล้วนำไปวางตากแดด 7 วัน นำผ้าที่โดนแสง ถ้าผ้าที่โดนแดดสีซีดน้อยมากหรือไม่เหมาะสมต้องทดลองและปรับปรุงให้มีคุณภาพอย่างที่ต้องการต่อไป (ศูนย์บริการข้อมูลเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้, หน้า 1 – 4)

ค่าสี

การจำแนกความแตกต่างระหว่างสี 2 สี ที่มีเฉดสีใกล้เคียงกัน ได้มีการตั้งระบบสำหรับวัดค่าสีขึ้นในปัจจุบันที่นิยมใช้มี 2 ระบบ คือ

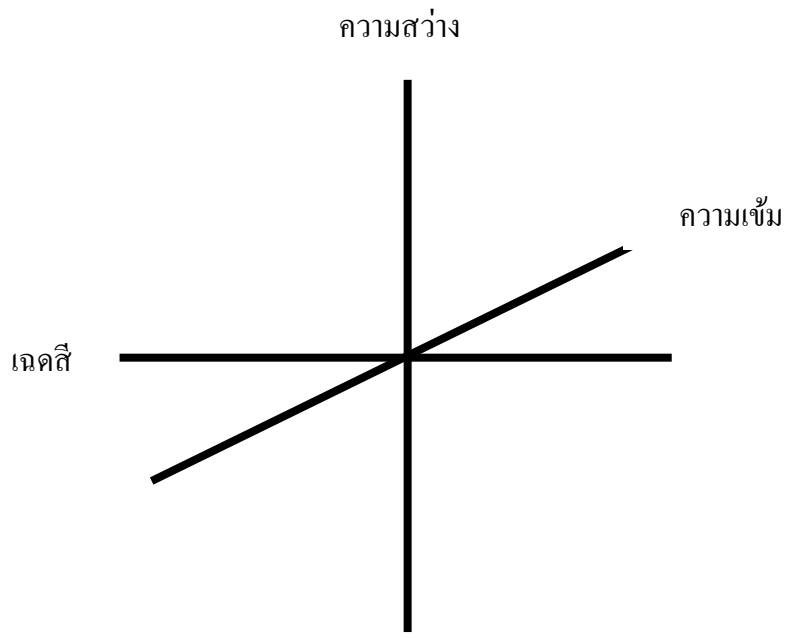
ระบบ Munsell เป็นระบบค่าสีพื้นฐาน อาศัยสมบัติการมองเห็น 3 ประการ คือ

1. ความสว่าง (lightness หรือ value) เป็นความสว่างของสี

2. ความเข้ม (saturation หรือ chroma)

3. เฉดสี (hue) คือ สีที่มนุษย์เรามองเห็น 10 สี คือ แดง (R) แดงเหลือง (RY) เหลือง (Y) เหลืองเขียว (YG) เขียว (G) เขียวน้ำเงิน (GB) น้ำเงิน (B) น้ำเงินม่วง (BP) ม่วง (P) และ ม่วงแดง (PR)

สมบัติทั้ง 3 จะปรากฏเป็นแกนตั้งฉากซึ่งกันและกัน ดังรูป



รูปที่ 2.7 ค่าสีพื้นฐานของ ความสว่าง ความเข้ม และเฉดสี

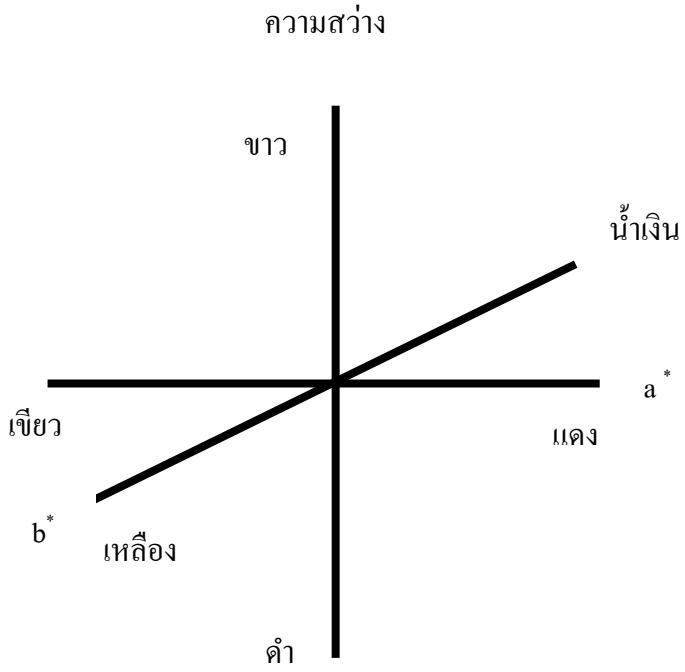
ค่าสีที่วัดได้ในระบบ Munsell จะมีทั้งตัวอักษรและตัวเลขของ เฉดสี ความสว่าง และความเข้ม เช่น 7.5 R 9/2 หมายถึง สีนี้ เฉดสีมีค่า 7.5 (สีแดงออกเหลือง) ความสว่างเป็น 9 (มีสีอ่อน) และความเข้มเป็น 2 (ยังไม่อิ่มตัว) สีนี้จึงมองเห็นเป็นสีชมพูซีด

ระบบ CIELAB เป็นระบบค่าสี มีองค์ประกอบ 3 ประการ คือ

1. แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน
2. การกระจายแสงออกมาจากวัตถุไปยังตัวตรวจหา
3. ผู้วัด

ค่าที่วัดได้ในระบบ CIELAB คือ

- ความสว่าง (L^*) มีค่า 0 – 100 โดย
  สีที่มีความสว่าง, L^*= 0 เป็นสีดำ (มืด)
  สีที่มีความสว่าง, L^*= 100 เป็นสีขาว (สว่าง)
- ค่า a^*เป็นค่าบอกสี แดง – เขียว โดย
  สีแดง มีค่า a^* เป็นบวก
  สีเขียว มีค่า a^* เป็นลบ
- ค่า b^*เป็นค่าบอกสี เหลือง – น้ำเงิน โดย
  สีเหลือง มีค่า b^* เป็นบวก
  สีน้ำเงินมีค่า b^* เป็นลบ



รูปที่ 2.8 ค่าที่วัดได้ในระบบ CIELAB

นอกจากนี้ ระบบ CIELAB ค่า a^*และ b^*ยังสัมพันธ์กับค่าเฉดสีและความเข้มของสีในระบบ Munsell ทำให้ได้ค่าอีก 2 ค่า คือ มุมเฉดสี (hue angle, h^*) และความเข้ม (chroma, C^*)

ค่ามุมเฉดสี, h^*มีหน่วยเป็นองศา บอกตำแหน่งของปริภูมิสี ดังนี้

h^* = 0 องศา แสดงว่า เป็น สีแดง

h^* = 90 องศา แสดงว่า เป็น สีเหลือง

h^* = 180 องศา แสดงว่า เป็น สีเขียว

h^* = 270 องศา แสดงว่า เป็น สีน้ำเงิน

ความเข้ม, C^*บอกความสดใสของสีที่ความสว่างหนึ่งๆ หาได้จาก

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศไทย

การย้อมสีธรรมชาติในประเทศไทยมีมาเป็นเวลานาน มีการวิจัยเกี่ยวกับสีย้อมและการย้อมสีธรรมชาติที่หลากหลาย สำหรับในช่วง 10 ที่ผ่านมา มีการวิจัยดังนี้

ณรงค์ ทองเพชร (2547) ได้ทำการศึกษาผลของพีเอชต่อการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายเบอร์ 10/1 ด้วยคราม โดยทำความสะอาดเส้นด้ายด้วยสบู่และโซเดียมคาร์บอเนต ใช้อัตราส่วนน้ำย้อมต่อเส้นด้ายคงที่ 10 ต่อ 1 ใช้ครามสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 1% และ 3% ของน้ำหนักเส้นด้าย และครามธรรมชาติ (ครามสกลนคร) ที่ความเข้มข้น 30 % และ 90% น้ำหนักเส้นด้าย ปรับพีเอชของน้ำย้อมให้อยู่ในช่วง 7 – 13

ด้วยกรดไฮโดรคลอริคหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำการทดลองย้อมที่อุณหภูมิปานกลางและใช้โซเดียมไดไธโอไนต์เป็นตัวรีดิวซ์ ใช้วิธีทางสเปกโทรโฟเมตรีในการติดตามการทดลอง ผลการทดลองพบว่า การย้อมในน้ำย้อมครามที่ช่วงพีเอช 7 – 10 จะให้สีและค่าการติดสีที่ดีที่สุดทั้งในกรณีของครามสังเคราะห์และครามธรรมชาติ

บริรักษ์ ยงประเสริฐ (2547) ได้ทำการศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายที่พีเอช 6 และ 9 ที่กำหนดด้วยสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกต้นตะเคียนหนู น้ำย้อมสกัดได้โดยการต้มเปลือกต้นตะเคียนหนู 1 ส่วนในน้ำ 10 ส่วน เป็นเวลา 60 นาที ปรับให้มีพีเอชที่กำหนดด้วยสารละลายอิ่มตัวแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายเบอร์ 10/1 ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยสบู่ ที่อุณหภูมิ 70°ซ เวลา 60 นาที ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนเปลือกต้นตะเคียนหนูต่อน้ำ 1 : 10 , 1 : 15 และ 1 : 20 อัตราส่วนน้ำย้อมต่อเส้นใย 10 : 1, 20 : 1 และ 30 : 1 และผลของการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1, 2 และ 3 % o.w.f. เป็นสารช่วยย้อม ได้ทำการติดตามการดูดซับสีโดยวิธีการทางสเปกโทรโฟโตเมตรี ทำการวัดสีที่ย้อมได้ ทดสอบความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสง ได้ใช้เส้นด้ายที่ย้อมในน้ำย้อมที่ไม่ได้ปรับพีเปชเป็นตัวควบคุม ผลการทดลองพบว่าน้ำย้อมพีเอช ระหว่าง 4.6 ถึง 5.0 การสกัดโดยใช้อัตราส่วนเปลือกต้นตะเคียนหนูต่อน้ำ 1 : 10 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด ในขณะที่การย้อมโดยใช้อัตราส่วนน้ำย้อมต่อด้าย 30 : 1 ให้การดูดซับสี มากที่สุด การย้อมที่พีเอช 9 ให้สีเข้มขึ้นตามการเพิ่มของความเข้มข้นเกลือที่ใช้ การเติมเกลือลงในน้ำย้อมก่อนให้การดูดซับสีเพิ่มมากขึ้น แต่การเติมเกลือที่เวลาอื่นๆ พบว่า ให้การดูดซับสีต่ำกว่าการย้อมโดยไม่ใช้เกลือ สีของด้ายที่ย้อมที่พีเอช 9 มีความคงทนต่อการซักดีกว่าที่ได้จากการย้อมที่พีเอช 6 และที่ไม่ได้ปรับพีเอช แต่ความคงทนของสีต่อแสงต่ำกว่า

รุ่งนภา ฟองทา (2547) ได้ทำการศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกต้นรกฟ้า น้ำย้อมสกัดได้โดยการต้มเปลือกต้นรกฟ้า 1 ส่วน ในน้ำ 10 ส่วน เป็นเวลา 60 นาที ปรับน้ำย้อมให้มีพีเอชเท่ากับ 11 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 โมลาร์ การย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายทำที่อุณหภูมิคงที่ 70 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ใช้อัตราส่วนเส้นด้ายฝ้าย 1 กรัม ต่อ น้ำย้อม 20 มิลลิลิตร ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นมอร์แดนต์ และวิธีการย้อมมอร์แดนต์ โดยมอร์แดนต์ที่ใช้ คือ สารส้มและเหล็กซัลเฟต ได้หาค่าการดูดซับสีโดยใช้วิธีการทางสเปกโทรโฟโตเมตรี แล้วนำเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมได้ไปวัดสี ทดสอบความคงทนต่อการซัก และทดสอบความคงทนต่อแสง ได้ทำการย้อมในน้ำย้อมที่ไม่ได้ปรับค่าพีเอชด้วย เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลจากการพิจารณาการติดสี ความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงพบว่า การย้อมสีที่พีเอช 11 ให้สีน้ำตาลออกแดงแต่สีติดไม่สม่ำเสมอ ส่วนการย้อมในน้ำย้อมที่ไม่ปรับพีเอชให้ผลการย้อมที่ดีกว่า ได้สีน้ำตาล สีสม่ำเสมอกว่า การย้อมโดยใช้สารส้มเป็นมอร์แดนม์ควรย้อมมอร์แดนต์ก่อนย้อมสี สีที่ได้จะมีเฉดน้ำตาลออกเหลือง ในขณะที่การย้อมโดยใช้เหล็กเป็นมอร์แดนต์ควรย้อมมอร์แดนต์หลังการย้อมสี สีที่ได้จะมีเฉดสีน้ำตาลปนเทาถึงเทาดำ และมีความคงทนกว่าการใช้สารส้มเป็นมอร์แดนต์

พรเพ็ญ โชชัย และคณะ (2550) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ : กรณีศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมเปลือกมะพร้าวและเปลือกประดู่ของชุมชนในเขตตำบลนาบ่อคำอำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาบริบทกระบวนการการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติของชุมชนและแหล่งวิชาการ สภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติที่ได้จากเปลือกมะพร้าวและเปลือกไม้ประดู่ การย้อมสีในระดับต้นแบบ และถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติสู่ชุมชนดำเนินการวิจัยโดยการสอบถามและ

สัมภาษณ์จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและผู้นำชุมชนในจังหวัดกำแพงเพชร วิเคราะห์จุดแข็งจุดอ่อนของกระบวนการย้อมสีธรรมชาติสืบค้นข้อมูลเทคนิคเกี่ยวกับกระบวนย้อมสีธรรมชาติและปัจจัยที่มีผลต่อการย้อมสีธรรมชาติวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง ตรวจหาแทนนิน สารประกอบฟีนอลิกแอนทราควิโนนและเฟลโวนอยด์ วัดค่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนมากที่สุดของสีน้ำย้อมด้วยเครื่องยูวี/วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ทำการทดลองย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายในห้องปฏิบัติการมีวิธีการย้อมโดยไม่ใช้สารช่วยติดสี การย้อมโดยย้อมสารช่วยติดสีก่อนการย้อมน้ำสี การย้อมโดยย้อมสารช่วยติดสีพร้อมการย้อมน้ำสี การย้อมโดยย้อมสารช่วยติดสีหลังการย้อมน้ำสี ศึกษาการดูดซับสีย้อมโดยเส้นด้ายฝ้าย ศึกษาเฉดสีของเส้นด้ายฝ้ายหลังการย้อม วัดหาค่าสีในระบบCIELAB ศึกษาความพึงพอใจเฉดสีของเส้นด้ายที่ย้อมได้ทุกกระบวนการโดยใช้เกณฑ์การประเมินความพึงพอใจ ทดสอบความคงทนต่อการซักฟอกโดยวิธี ISO – 105 – C01 : 1989 และความคงทนต่อแสง โดยวิธี ISO – 105 – B02 : 1994 ทำการย้อมสีระดับต้นแบบ อบรมเชิงปฏิบัติการการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายแก่ชุมชนแล้วประเมินผลการอบรม จัดนิทรรศการแสดงผลการวิจัย ผลการวิจัยสรุปได้ว่า บริบทกระบวนการการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติของชุมชนและแหล่งวิชาการหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการส่งเสริมอาชีพการย้อมเส้นด้ายฝ้ายได้มีการส่งเสริมอาชีพการย้อมสีผ้าที่เป็นหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์และพัฒนาแบบครบวงจร สีน้ำย้อมที่สกัดได้ น้ำย้อมสีจากเปลือกมะพร้าวมีสีแดงแกมม่วง น้ำย้อมสีจากเปลือกประดู่มีสีแดงส้ม มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย แทนนิน สารประกอบฟีนอลิก และแอนทราควิโนนเป็นองค์ประกอบ แต่ไม่มีเฟลโวนอยด์ มีฤทธิ์เป็นกรด การดูดซับสีย้อมโดยเส้นด้ายฝ้ายน้ำย้อมสีจากทั้งเปลือกมะพร้าวและเปลือกประดู่มีร้อยละของการถูกดูดซับโดยรวมค่อนข้างต่ำ ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายหลังการย้อมในระบบ CIELAB ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมด้วยเปลือกมะพร้าว ส่วนใหญ่มีความสว่าง ไปทางสีขาว และเฉดสีไปทางสีน้ำตาลชมพู ค่าสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ย้อมด้วยเปลือกประดู่ ส่วนใหญ่มีความสว่างไปทางสีดำ และเฉดสีไปทางสีน้ำตาล สมาชิกผู้ผลิตผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติมีความพึงพอใจต่อสีที่ย้อมได้ ความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีจากเปลือกมะพร้าวที่คงทนต่อการซักและแสงได้ดีที่สุด สามารถใช้เป็นต้นแบบได้ 4 ตัวอย่าง ความคงทนของสีเส้นด้ายฝ้ายที่ผ่านการย้อมสีจากเปลือกประดู่ที่คงทนต่อการซักและแสงได้ดีที่สุด สามารถใช้เป็นต้นแบบได้ 12 ตัวอย่าง การย้อมสีระดับต้นแบบ สีของต้นแบบทั้งหมดเหมือนกับการย้อมที่ทำการทดลอง การย้อมในห้องปฏิบัติการ สามารถนำไปใช้ทำการย้อมในอุตสาหกรรมครัวเรือนได้การถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติสู่ชุมชน โดยการอบรมเชิงปฏิบัติการแก่สมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมแก้วพัฒนา บ้านสร้อยสุวรรณและนักศึกษาโปรแกรมวิชาเคมีพร้อมกับจัดนิทรรศการแสดงขั้นตอนและสีของเส้นด้ายฝ้ายที่ได้จากการย้อมสีต้นแบบ ซึ่งผู้เข้ารับการอบรม มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ศศิธร โนนสังข์ และสุดาพร ตังควนิช (2555) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ย้อมด้วยสีธรรมชาติแบบผงจากใบสาบเสือ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ย้อมด้วยสีธรรมชาติแบบผงจากใบสาบเสือ โดยใช้สารช่วยกระจายตัวนาโนซิงค์ออกไซด์คือสารอะครีลิกและสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟต เคลือบเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก ผลิตสีผงจากใบสาบเสือและวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ max) ของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำเส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกและสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตมาย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติแบบผงจากใบสาบเสือที่อุณหภูมิ 80 - 100 C° เป็นเวลา 15 นาที นำเส้นไหมไปวัดความเข้มสีด้วยเครื่องวัดสี (Colorimeter) CIELAB 1976 วัดความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ISO 105-B02:1994 (E) และการซักตามมาตรฐาน ISO 105-C10:2006

(E) ตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเลกตรอนแบบส่องกราด การต้านไฟฟ้าสถิต การคืนตัวต่อการยับ การซึมผ่านของอากาศ การทนต่อ แรงดึงขาด การทนต่อความร้อน ผลการวิจัย พบว่า ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดของสีย้อมแบบผงจากใบสาบเสือ มีค่าเท่ากับ 348.26 nm เส้นไหมที่เคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกให้ค่าความเข้มสีสูงสุด เท่ากับ 6.08 เมื่อเติมสารส้มเป็นสารช่วยติดและมีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 68.20 เมื่อเติมมะขามเปียกเป็นสารช่วยติด ส่วนเส้นไหมที่เคลือบนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตให้ค่าความเข้มสีสูงสุด เท่ากับ 6.04 เมื่อเติมสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดและมีค่าความสว่างสูงสุด เท่ากับ 67.33 เมื่อเติมสารส้มเป็นสารช่วยติด เส้นไหมที่เคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิกและสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตมีค่าความคงทนของสีต่อแสงในระดับดีเมื่อเติมสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะครีลิก และสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟต มีค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับดีเมื่อเติมจุนสีเป็นสารช่วยติดสี

ณภัทร ยศยิ่งยง (2557) ได้ศึกษาการพัฒนาความคงทนของสีและเฉดสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยวัสดุสีธรรมชาติ ปัญหาหนึ่งของการผลิตผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติที่มักพบเห็น คือ ผ้ามีสีไม่หลากหลาย ไม่ค่อยเป็นที่นิยม และมักมีสีซีดจางได้ง่าย เพื่อเป็นการพัฒนาด้านคุณภาพของผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ ให้มีคุณภาพที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตเป็นสินค้าเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ จึงเห็นความสำคัญในการวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพการย้อมผ้าฝ้ายด้วยวัสดุสีธรรมชาติให้มีสีหลากหลายและมีความคงทนของสี โดยใช้สีจากวัสดุธรรมชาติ 4 ชนิด คือ เปลือกมะพร้าวอ่อน, เปลือกต้นโกงกาง, ใบโกงกาง และใบ ลิ้นจี่ที่สกัด โดยใช้อัตราส่วน วัสดุ : น้ำ 1 : 5 และ 1 : 7 เวลาที่ใช้สกัดสี และเวลาย้อม 60 นาที สารช่วย ย้อม 3 ชนิด คือ น้ำด่าง, น้ำปูนใส และสารส้ม โดยใช้วิธีย้อมแบบหลังย้อมที่เวลา 20 นาที 40 นาที จากการวิเคราะห์ค่าความสว่าง (CIEL*) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยใบลิ้นจี่ที่ใช้อัตราส่วนสกัด 1 : 7 ใช้สารส้มเป็นสารช่วยย้อมที่เวลา 40 นาที มีค่าความสว่างสูงสูด คือ 70.56 ผ้าฝ้ายได้สีครีมน้ำตาล ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (CIEa*) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยใบโกงกาง ที่ใช้อัตราส่วนสกัด 1 : 5 ใช้น้ำปูนใส และสารส้ม เป็นสารช่วยย้อมที่เวลา 40 นาที มีค่าความเป็นสีแดงสูงสุดคือ 20.83 ได้ผ้าฝ้ายสีน้ำตาลแดง และน้ำตาลอมส้ม ตามลำดับ ค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (CIEb*) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยใบโกงกาง ที่ใช้อัตราส่วนสกัด 1 : 5 ใช้สารส้มเป็นสารช่วยย้อมที่เวลา 40 นาที มีค่าความเป็นสีเหลืองสูงสุดคือ 31.86 ผ้าฝ้ายได้สีน้ำตาลอมเหลือง ค่าความสดใสของสี (CIEC*) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยใบโกงกางที่ใช้ อัตรา ส่วนสกัด 1 : 5 ใช้สารส้มเป็นสารช่วยย้อมที่เวลา 40 นาที มีค่าความสดใส สูงสุดคือ 38.07 ผ้าฝ้าย ได้สีน้ำตาลอมส้ม เฉดสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยเปลือกมะพร้าวอ่อน ได้สีน้ำตาลแดง ถ้าไม่ใช้สารช่วย ย้อมจะมีสีชมพูอ่อน ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยเปลือกโกงกางได้สีน้ำตาลทอง และน้ำตาลอมส้ม แต่เมื่อย้อมด้วยใบโกงกางได้เฉดสีเป็นสีส้ม และสีน้ำตาลทอง และเฉดสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยใบลิ้นจี่ ผ้าฝ้ายได้สีครีมน้ำตาล และสีเหลืองนวล เมื่อวิเคราะห์ความคงทนของสีต่อแสง พบว่า ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยวัสดุธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด อยู่ที่ระดับเกรย์สเกล 3 ถึง 5 อยู่เกณฑ์ - ดีมาก และค่าความคงทนของสี ต่อการซักอยู่ที่ระดับ 4 ถึง 5 ทุกสารช่วยย้อม ดังนั้นผ้าฝ้ายมีความคงทนของสีอยู่ในระดับดี ถึงดีมาก

สุดกมล ลาโสภา และรุ่งนภา พิมเสน (2559) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีเคมีสีเขียวสำหรับปรับปรุงการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยใช้เคมีสีเขียว ที่ซึ่งใช้สารสกัดของพืชในท้องถิ่น ได้แก่ เค็ง (Dialium cochinchinense Pierre) ผักเสี้ยน (Cleoma viscosa L.) ยอ (Morinda citrifolia) มะรุม (Moringa oleifera) มะขาม (Tamarindus indica L.) มะหาด (Artocarpus lacucha)

ชะพลู (Piper nigrum L.) และราชพฤกษ์ (Cassia fistula) ซิงค์ไนเตรตถูกเปลี่ยนรูปจากซิงค์ไอออนเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของซิงค์กับสารสกัดจากพืช จากนั้นเมื่อนำมาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดพืชทั้งหมดที่ศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบเค็งดีที่สุดเนื่องจากให้ปริมาณของซิงค์ออกไซด์สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดจากพืชชนิดอื่นๆ พิสูจน์เอกลักษณ์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสสิเบิล สเปกโทรสโกปีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) จากผลของแถบการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิล พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ปรากฏที่ความยาวคลื่น 347 นาโนเมตรจากภาพ SEM แสดงถึงอนุภาคที่เกิดการเกาะกลุ่มกันของนาโนซิงค์ออกไซด์มีลักษณะเป็นทรงกลมของผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับ ICDD หมายเลข 00-0361451 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็น ZnO ที่มีโครงสร้างแบบเวอร์ตไซท์ขนาดผลึกเฉลี่ยของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์คำนวณโดยใช้สมการของเชอเรอร์ เท่ากับ 26.05 นาโนเมตร และ FTIR ปรากฏพีกแสดงการยึดเกาะกันของ Zn-O ที่ 1025 และ 415 ซม.-1 นำผ้าฝ้ายที่ดัดแปรด้วยอนุภาคนาโนดังกล่าวมาย้อมสีด้วยสีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ พบว่า ความเข้มของสี (K/S) ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียชนิด Staphylococcus aureus ของผ้าฝ้ายดัดแปรด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีค่าสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่มีการดัดแปร

พรเพ็ญ โชชัย และระมัด โชชัย (2559) ได้ทำการศึกษาผลของนาโนไทเนียมไดออกไซด์ต่อการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติ งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ผลของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ และการย้อมสีธรรมชาติ ในระดับต้นแบบที่ใช้นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้ผ้าย้อมสีจากเปลือกประดู่ ใช้เหล็ก (II) ซัลเฟตเป็นมอร์แดนต์ การย้อมนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์มีทั้งการย้อมร้อนและย้อมเย็น แล้วให้กลุ่มทอผ้าประเมิน ความพึงพอใจต่อสีเส้นด้ายฝ้ายแล้วนำตัวอย่างที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด จำนวน 23 ตัวอย่างทดสอบ ความคงทนของสีและนำตัวอย่างที่มีความคงทนดีที่สุดไปทำการย้อมระดับต้นแบบ ผลการวิจัยพบว่า การย้อมสี เส้นด้ายฝ้ายด้วยสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีสัณฐานวิทยาที่เป็นเอกพันธุ์ทรงกลม ที่เชื่อมต่อกันช่วยให้ดูดซึมสีย้อมได้ดีขึ้น ไม่ทำให้สีของเส้นด้ายฝ้ายเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้สีเส้นด้ายฝ้าย มีความคงทนดีขึ้น

ระมัด โชชัย และพรเพ็ญ โชชัย (2560) ได้ทำการศึกษาการใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติร่วมกับนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ค่าสีและสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ การย้อมสีในระดับต้นแบบและสภาวะที่เหมาะสมของการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายที่นาโนซิงค์ออกไซด์ร่วมกับสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกประดู่ โดยใช้เหล็กซัลเฟตเป็นมอร์แดน ทำการย้อมนาโนซิงค์ทั้งการย้อมร้อนและย้อมเย็น แล้วให้กลุ่มทอผ้าประเมินความพึงพอใจของเส้นด้ายฝ้าย ทำการทดสอบความคงทนของสีตัวอย่างเส้นด้ายฝ้ายที่ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด 26 ตัวอย่าง และนำตัวอย่างที่สีมีความคงทนที่สุดทำการย้อมระดับต้นแบบ ผลการวิจัย พบว่า การใช้นาโนซิงค์ออกไซด์ในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากสีย้อมธรรมชาติ ความเข้มข้นของนาโนซิงค์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนสีและค่าสีของเส้นด้ายฝ้าย แต่มีผลต่อความคงทนของสีทั้งมนการซักและแสง ทั้งนี้เนื่องจากนาโนซิงค์เป็นผงผลกมีโครงสร้างแบบปริซึมหกเหลี่ยม (hexagonal prism) มีพื้นที่ผิวมากช่วยให้ดูดซึมสีย้อมได้ดีขึ้น สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการย้อมสีเส้นด้ายฝ้ายจากเปลือกประดู่ร่วมกับนาโนซิงค์ออกไซด์มี 3 สภาวะ คือ การย้อมแคลเซียม 1% แล้วตามด้วยน้ำย้อมประดู่ 0.5%

และนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.02% การย้อมแคลเซียม 2% แล้วตามด้วยน้ำย้อมประดู่ พร้อมเหล็ก 0.25% พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.08% และการย้อมน้ำย้อมประดู่พร้อมนาโนซิงค์ออกไซด์ 0.06% ตามด้วยแคลเซียม 1%

อรนุช นาคชาติ และคณะ (2560) ได้ศึกษาการย้อมสีไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติมา ใช้ย้อมเส้นไหม วิธีการดำเนินงานวิจัย 1) สกัดน้ำย้อมจากเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม 2) ศึกษาผลของสารช่วยติดสี ได้แก่ ใบชงโค ใบมะขาม สารส้ม และโคลน ต่อ คุณภาพการย้อมไหม และ 3) การนำไปประยุกต์ใช้ ผลการวิจัยพบว่า สกัดน้ำย้อมจากเมล็ดมะขาม และเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามโดยใช้อัตราส่วนเมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัม ต่อน้ำสะอาด 7 ลิตร ต้มสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อนำไปย้อมเส้นไหมจะให้เฉดสีน้ำตาลทองถึงเทาขึ้นอยู่กับสารช่วยติดสี เส้นไหมมี ความแข็งแรง คงทนต่อการกดทับด้วยความร้อน คงทนต่อการขัดถูและความคงทนต่อเหงื่อในระดับ คุณภาพค่อนข้างดีถึงค่อนข้างดีมากที่สุด (2/3-4/5) แต่ความคงทนต่อการตกสีมีคุณภาพต่ำ สารช่วยติด สีที่ให้เส้นไหมที่มีคุณภาพความคงทนของสีโดยรวมดีที่สุด คือ สารส้มและโคลน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผ้าไหมได้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ การนำเมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่เหลือทิ้งและมีอยู่เป็นจำนวนมากในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ สามารถผลิตสินค้า ดังกล่าววางขายในท้องตลาดและเพิ่มมูลค่าของผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อ สีย้อม ผู้ย้อมและผู้สวมใส่ผ้าไหมมีความปลอดภัย

กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560) ได้ศึกษาการย้อมสิ่งทอด้วยสีธรรมชาติ เป็นกระบวนการทางเคมีซึ่งกระบวนการยอ้มจะขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้การย้อมที่ดีจะต้องได้สีตามที่ต้องการ สีมีความสม่ำเสมอ ย้อมแล้วได้ผลเหมือนเดิม มีความคงทนของสี และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก สีย้อมสามารถจำแนกได้ตามแหล่งกำเนิดสี ได้แก่ สีจากธรรมชาติและสีสังเคราะห์ โดยสีย้อมจากธรรมชาติ สามารถหาได้จากวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่น การใช้สีย้อมธรรมชาติมีข้อดีคือ มีความปลอดภัยต่อสุขภาพ ของผู้ผลิตและผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ อีกทั้งน้ำย้อมหลังกระบวนการผลิตยังไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดลอ้ม แต่มีข้อจำกัดในเรื่องของคุณภาพสีและความสม่ำเสมอของสีที่ได้ในแต่ละรอบการผลิต วิธีการย้อมสีธรรมชาติโดยทั่วไป ทำได้โดยการย้อมโดยตรง (Direct dyeing) การย้อมแบบแวต (Vat dyeing) และการย้อมโดยใช้สารช่วยสีติด (Mordant dyeing) ซึ่งฝ้ายและไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่นิยมนำมาย้อมด้วยสีธรรมชาติและนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอวางจำหน่าย การยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์สิ่งทอสามารถทำ ได้โดยพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ซึ่งมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสิ่งทอมีอยู่หลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) AATCC ASTM ISO เป็นต้น

ตะวัน ตนยะแหละ และคณะ (2560) ได้ศึกษาการสร้างสรรค์สีย้อมธรรมชาติและลายผ้าเพื่อพัฒนาผ้าบาติกสู่ชุมชน วัตถุประสงค์เพื่อ 1) ทรัพยากรพืชท้องถิ่นที่สามารถนำมาทำสีย้อมธรรมชาติที่ติดเนื้อผ้าได้คงทนใช้ทดแทนสีย้อมเคมีส่งผลต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและสืบทอดเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นต่อไป 2) การออกแบบลวดลายผ้าเพื่อพัฒนาศักยภาพให้กับผู้ผลิตผ้าบาติกในท้องถิ่นได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน ผลกาวิจัยพบว่า ทรัพยากรพืชท้องถิ่นที่สามารถนำมาทำสีย้อมธรรมชาติที่ติดเนื้อผ้าได้คงทนใช้ทดแทนสีย้อมเคมีไม่ส่งผลกระทบต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและสืบทอดเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นต่อไปทได้ พบว่า พืชที่ใช้ในการวิจัยได้ 6 สี คือ คำแสดได้น้ำตาลอมส้ม มะหาดได้สีน้ำตาลอมม่วง ขมิ้นได้สีเหลืองอ่อน เพกาได้สีเขียวอ่อน ย่านอวดแห้งสดได้สีน้ำตาลเข้ม ย่านอวดเป็นสีใหม่ซึ่งได้จากพืชชนิดไม้เลื้อยที่อยู่

ในชุมชน สีที่ได้สามารถนำมาผลิตผ้าบาติกให้กลุ่มผ้าบาติกยางกล้วยในชุมชนเขารูปช้าง ตำบลปาดังเบซาร์ อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ได้ใช้ความรู้สืบทอดเป็นภูมิปัญญาสู่คนในชุมชน และผลการศึกษาการออกแบบลวดลายผ้าเพื่อพัฒนาศักยภาพให้กับผู้ผลิตผ้าบาติกในท้องถิ่นได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน ได้ลวดลายผ้าบาติก ผู้วิจัยออกแบบได้ 2 ลาย คือ ลายเส้นที่ได้แรงบันดาลใจจาก เห็ด รา ยีสต์ แบคทีเรีย และลายเส้นที่ได้แรงบันดาลใจจากเปลือก ซึ่งได้แรงบันดาลใจจากธรรมชาติที่พบเห็นในชุมชน ลวดลายและสีที่ได้นี้นำไปพัฒนาลายผ้าให้กับกลุ่มผ้าบาติกเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และสิ่งทอให้กับกลุ่มผ้าบาติกยางกล้วยในชุมชนให้เข้าแข็งต่อไป

สุดกมล ลาโสภา (2560) ได้ศึกษาการดัดแปรงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยใช้วิธีทางเคมีสีเขียว การปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโนด้วยวิธี ทางเคมีสีเขียว ไคโตซานสกัดได้จากเปลือกกุ้งขาว Litopenaeus vannamei ซิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์ อนุภาคนาโน เตรียมโดยใช้สารสกัดธรรมชาติจากพืชท้องถิ่นเป็นสารรีดิวซ์ และยืนยันสารที่สังเคราะห์ได้ ด้วยโครงสร้าง หมู่ฟังก์ชัน และสัณฐานวิทยา โดยใช้เอกซ์เรย์ ดิฟแฟรกชัน ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปีและ สแกนนิง อิเล็กตรอน สเปกโทรสโกปีตามลำดับ ไคโตซานมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทัลเป็น 79.47 ซิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่คำนวณจากเอกซ์เรย์ ดิฟแฟรกชันด้วย สมการของ Debye-Scherrer มีค่าเท่ากับ 112.8 และ 143.0 นาโนเมตร ตามลำดับ สารสังเคราะห์ทาง ชีวภาพของไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโนนำมาปรับปรุงผ้าฝ้ายที่ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ภายใต้การสั่นด้วยคลื่นเสียงจากนั้นบ่มที่ 150 องศาเซลเซียส คุณสมบัติการย้อมผ้าฝ้ายที่ ผ่านการปรับปรุงด้วยสารสังเคราะห์ทางชีวภาพ พบว่า ความเข้มสีการยับยั้งแบคทีเรีย Staphylococcus aureus การป้องกันแสงยูวี ความคงทนของสีต่อแสงแดด และการซักล้าง ให้ผลใกล้เคียงกับเมื่อเปรียบ เทียบกับการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารสังเคราะห์ทางเคมีชนิดเดียวกัน นอกจากนั้นศึกษาการใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอล และพอลิเอทิลีนอิมมีนเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงของผ้าฝ้าย พบว่า เมื่อใช้พอลิเอทิลีน ไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และเมื่อใช้ พอลิเอทิลีนอิมมีนเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์ อนุภาคนาโนให้ผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงดังกล่าวเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

ปทิตตาท์ วงศ์แสงเทียน (2561) ได้ศึกษาการย้อมสีเส้นไหมจากเมล็ดคำแสดสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี ค่าสีของเส้นไหม ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสีเส้นไหม ความคงทนของสีเส้นไหมที่ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากที่สุด และกระบวนการย้อมต้นแบบเพื่อการย้อมสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือนและเปรียบเทียบสีกับการย้อมในห้องปฏิบัติการของน้ำย้อมสีจากเมล็ดคำแสด ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ประกอบด้วยการศึกษาข้อมูลด้วยการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ศึกษาสำรวจด้วยแบบสอบถาม และการจัดอบรมเชิงปฏิบัติการ จากการศึกษาการย้อมสีเส้นไหมจากเมล็ดคำแสดสำหรับอุตสาหกรรมครัวเรือน ผลการวิจัยพบว่า 1) สมบัติทางเคมีของน้ำย้อมสีจากเมล็ดคำแสด มีสมบัติเป็นกรด และมีค่า pH เฉลี่ย 4.373 มีสีแดงส้ม และเมื่อทิ้งไว้นานๆ จะเป็นสีส้มเหลือง มีองค์ประกอบทางเคมีซึ่งประกอบด้วย สารแทนนินที่มีโครงสร้างเป็น disubstituted hydroxy aromatic (o – para hydroxyl aromatic) ซึ่งจัดเป็นสาร ฟีนอลิก และมีแอนทราควิโนน โดยมีเฟลโวนอยด์เป็นองค์ประกอบ 2) ค่าสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากเมล็ดคำแสด สีเส้นไหมที่ได้มีความสว่าง (L*) อยู่ระหว่าง 67.32 – 73.41 ซึ่งตัวอย่างที่มีความสว่างมากที่สุด ตามด้วยน้ำย้อมสี ค่าสี

แดง – เขียว (a*) อยู่ระหว่าง 24.77 – 32.02 เป็นช่วงสีแดง ส่วนค่าสีเหลือง – น้ำเงิน (b*) อยู่ระหว่าง 53.69 – 64.17 เป็นช่วงสีเหลือง จากการที่ค่าสีเป็นสีผสมของสีแดงกับสีเหลืองทำให้สีของเส้นไหมทั้งหมดมีสีส้ม–เหลือง 3) ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสีเส้นไหมที่ย้อมด้วยน้ำย้อมสีจากเมล็ดคำแสด มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 3.82 4) ความคงทนของสีเส้นไหม มีความคงทนต่อการซักส่วนใหญ่ในระดับดี แต่ความคงทนต่อแสง อยู่ในระดับพอใช้ – พอใช้ค่อนข้างดี 5) นำวิธีการที่ดีที่สุดไปย้อมในระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน สีเส้นไหมที่ได้จากการย้อมในระดับต้นแบบ ไม่แตกต่างจากสีเส้นไหมที่ย้อมในห้องปฏิบัติการ และ 6) การย้อมสีระดับต้นแบบและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการย้อมสีเส้นไหมจากสีย้อมธรรมชาติสู่ชุมชน เมื่อนำวิธีการย้อมสีเส้นไหมไปอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับสมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมหมู่บ้านหาดสูง จำนวน 20 คน สมาชิกกลุ่มทอผ้าไหมหมู่บ้านหาดสูงสามารถย้อมสีเส้นไหมได้ตรงกับการย้อมของนักวิจัย และมีความคิดเห็นในทางบวกแก่การอบรมเชิงปฏิบัติการดังกล่าว

ภัทรา ศรีสุโข (2561) ได้ศึกษาการพัฒนาภูมิปัญญาการย้อมสีธรรมชาติจากพันธุ์พืชในท้องถิ่นสู่เครื่องประดับ ตำบลบ่อ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพืชในท้องถิ่นตำบลบ่อ อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี ที่สามารถย้อมและพัฒนาสีธรรมชาติได้ จากนั้นการออกแบบเครื่องประดับจากผ้าย้อมสีธรรมชาติที่สอดคล้องกับความต้องการของตลาด ผลการวิจัย พบว่า การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติโดยสำรวจจำนวนประชากรของพืชในท้องถิ่นที่สามารถนำมาย้อมสีได้ คัดเลือกโดยวิธีการสนทนากลุ่มจนเหลือ 3 ชนิด คือ ใบชลู่ ใบตะบูน และใบเงาะ พัฒนากระบวนการย้อมสีให้ได้หลายเฉดสีด้วยการใช้สารช่วยติดหลังย้อม ได้แก่ น้ำสนิม น้ำด่างขี้เถ้า น้ำปูนใส น้ำเกลือ น้ำโคลนป่าชายเลน แล้วทดสอบความคงทนของสีต่อแสงการซัก และเหงื่อเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานจริง สีของผ้าไหมย้อมสีจากใบชลู่ได้โทนสีเหลืองอมเขียว ใบตะบูนได้โทนสีน้ำตาลแดงและใบเงาะได้โทนสีน้ำตาลอมเทา ส่วนการพัฒนาเครื่องประดับจากผ้าย้อมสีธรรมชาติ ทำการสำรวจความต้องการของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจและวิธีการสุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน และการระดมความคิดร่วมกันทั้งกลุ่มวิสาหกิจและชมรมคลัสเตอร์เพื่อหาแนวทางและกำหนดทิศทางในการออกแบบ คือ รูปแบบร่วมสมัยใช้แนวทางในการออกแบบเครื่องประดับที่นำอัตลักษณ์ของจันทบุรีมาจากโบสถ์วัดพระปฏิสนธินิรมล จึงสามารถแบ่งเครื่องประดับได้เป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มตลาดระดับบน ลูกค้าอายุประมาณ 30 ปีขึ้นไป ราคาขายประมาณ 5,000 บาท ใช้อัญมณีพลอยเนื้ออ่อน เทคนิคที่เลือก คือ การปักผ้า Goldwork เป็นเทคนิคการปักด้วยวัสดุดิ้นเงินดิ้นทอง กลุ่มตลาดระดับกลางลูกค้าอายุประมาณ 20 ปีขึ้นไป ราคาขาย 500-3,000 บาท ใช้เทคนิคงานผ้ามัดย้อมสีธรรมชาติ ลูกปัดจากเส้นไหมย้อมสีธรรมชาติ และกลุ่มตลาดระดับล่างหรือของที่ระลึก เช่น พวงกุญแจ เข็มกลัด ลูกค้าอายุประมาณ 20 ปีขึ้นไป ราคาขายประมาณ 100 บาทขึ้นไป สรุปมีผู้เข้าร่วมพัฒนาผลิตภัณฑ์จำนวน 6 ราย

พัชราภรณ์ พิมพ์จันทร์ (2562) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มการติดสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติสำหรับเส้นใยจากกก วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มการติดสีและความคงทนของสีสำหรับเส้นกกที่ย้อมด้วย พืชสองชนิดคือขมิ้นและฝางโดยใช้โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมักโคลนจากธรรมชาติ สารสกัดสีที่เตรียมจากขมิ้นและฝางให้สีเหลืองและสีแดง ทำการวิเคราะห์เฉดสีเส้นกกหลังย้อมด้วย Chroma meter Konica Minalta CR-400 ผลการวิจัยพบว่า กกที่ย้อมด้วยขมิ้นและฝางให้เฉดสีเหลืองและแดง ตามลำดับ โดยเมื่อย้อมร่วมกับโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมักโคลนจะให้สีเข้มขึ้น ให้ค่า L* ลดลง และ ให้ค่า a* หรือ b* สูงขึ้นเมื่อเทียบกับการย้อมด้วยขมิ้น หรือฝางเพียงอย่างเดียว (ค่า L* a* และ b* เท่ากับ 60.29 5.42 และ 36.07 สำหรับย้อมด้วยขมิ้นและ 65.04 6.01 และ

18.41 สำหรับการย้อมด้วยฝาง) แสดงว่า โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและโคลนสามารถเพิ่มการยึดเกาะและความ เข้มของสีให้กับสีย้อมธรรมชาติได้โดยโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตจะสร้างพันธะโคออรดิเนตโคแวเลนต์ ระหว่างโมเลกุลสีกับหมู่ –OH ของเส้นใยกกในขณะที่โคลนสามารถเพิ่มความเข้มสีหลังย้อมได้โดย การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะหรือไอออนบวกกับโมเลกุลของสีและหมู่ H – OH ของเส้นใยกก สอดคล้องกับการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด (ISO 105-B02 : 1994) ซึ่งพบว่าเส้นใยกกที่ย้อม ด้วยสีย้อมธรรมชาติร่วมกับโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและการหมักโคลนอยู่ในระดับดี เมื่อทำการตากแดด 20 วันพบว่าให้ค่า L* a* และ b* ใกล้เคียงกับเริ่มต้น โดยค่าการเปลี่ยนแปลงสี (ΔE^*) ของเส้นกกที่ย้อมด้วยขมิ้นร่วมกับการหมักโคลนมีค่า 5.35 และย้อมฝางร่วมกับการหมักโคลนมีค่า 2.82 ซึ่งต่ำกว่าการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติเพียงอย่างเดียวแสดงว่าเส้นใยธรรมชาติที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติสามารถเพิ่มความคงทนการติดสีด้วยโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตและโคลนได้

งานวิจัยในต่างประเทศ

Zin Mar Win และ Moe Moe Swe (2008). ได้ทำการสกัดสีจากเปลือกมะม่วงและทำให้บริสุทธิ์ ทำการทดสอบทางพฤกษเคมี แล้วนำไปย้อมกับเส้นใยโปรตีน ได้แก่ เส้นใยขนสัตว์และใยไหมด้วยวิธีการย้อมต่างๆ ศึกษาค่าสีในระบบ CIELAB การดูดซับสีบนเส้นใยตามระบบ K/S และศึกษาสมบัติการติดสีของตัวอย่างต่อการซัก

Katarzyna Schmidt-Przewozna และ Jakub Kowalinski (2008) ได้ทำการศึกษาการใช้ green technology ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยใช้สีย้อมจากธรรมชาติแทนสีย้อมสังเคราะห์ในการย้อมผ้าลินิน ผ้าป่าน และเส้นใยถักนิตติง และมีการศึกษาถึงความคุ้มค่าของผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษา พบว่าผ้าลินินและผ้าป่านและเส้นใยถักนิตติง ที่ย้อมด้วยสีย้อมจากธรรมชาติ มีความคงทนต่อเหงื่อไคลได้ดี

R.K. Rekha และ A. Ramalingam (2009) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของคาร์มีน (carmine)ซึ่งเป็นสีย้อมธรรมชาติ โดยทำ thermally induced optical nonlinearity ใน methanol ด้วยการใช้ CW Nd-YAG laser ที่ 532 nm เป็นแหล่งกำเนิดทำในสารละลายและฟิล์ม methylmethacrylate (MMA) ทำการวัดความเข้มของแสงที่ดัชนีหักเหเท่ากับ 2.00 สีแสดงดัชนีหักเหไม่เชิงเส้นมีค่าเป็นลบในอันดับ $10^{-7}cm^2/W$. ดัชนีหักเหไม่เชิงเส้นแปรค่าตามความเข้มข้นจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า คาร์มีนสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ทางแสงได้

H. Norasiha. A.M. Mimi Sakinah และ C.M. Rohaida (2009) ได้ทำการละลายของสีย้อมธรรมชาติในน้ำให้อยู่ในรูปสารเชิงซ้อนรวมกับบีตา-ไซโคลเด็กซทริน (β - cyclodextrin ,β - CD) แล้วศึกษา molecular association กับ phase solubility เมื่อมีบีตา-ไซโคลเด็กซทรินเกิด fluorescence absorbances ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเตรียมสารเชิงซ้อนดังกล่าวที่เป็นของแข็งด้วยการตกตะกอนแบบ co-precipitation method แล้วศึกษาอัตลักษณ์ด้วย Fourier Transform Infrared (FTIR) ศึกษาอันตรกิริยาที่เกิดกับ host ด้วยการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแถบโมเลกุลของ guest และ X - ray Diffractometer (XRD) ซึ่งบอกถึงโครงสร้างที่เป็นของแข็ง

M.Kumaresan, P.N.Palanisamy และ P.E.Kumar (2011) ได้ศึกษาการติดสีของสีย้อมจากดอก *Cordia Sebestena* dyed บนผ้าไหม โดยใช้มอร์แดนต์ผสม เช่น myrobolan กับ nickelsulphate, myrobolanกับ aluminium sulphate, myrobolan กับ potassium dichromate,

myrobolan กับ iron(II) sulphate และ myrobolan กับ tin(II) chloride ในอัตราส่วน 1:3, 1:1, 3:1. ผลปรากฏว่า เส้นไหมตัวอย่างมีการติดสีในระดับดี

Nursyamirah Abd Razak, Siti Marsinah Tumin และ Ruziyati Tajuddin (2011) ได้ทำการศึกษาการสกัดสีจากพืชพวก Xylocarpus moluccensis ด้วยเทคนิค Pressurized Hot Water Extraction (PHWE) โดยแปรอุณหภูมิ จาก 50°C ถึง 150°C เปรียบเทียบกับการต้มที่ 100°C. และวิเคราะห์ strength ของสีด้วย UV/Visible spectrophotometer และ Video Spectral Comparator (VSC 5000) พบว่า ข้อมูลสีจาก VSC แสดงถึงการมีอินทราคิวโนนและจาก UV-Visible spectrum พบว่า absorbance ของสีที่สกัดด้วยเทคนิค PHWE สูงกว่าสีที่สกัดด้วยการต้มให้เดือด และการใช้ PHWE จะใช้เวลาและน้ำน้อยกว่า

Norasiha Binti Hamid (2011). เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ทางจลนพลศาสตร์และอุณหพลวัตของการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างสีจากธรรมชาติกับสารบีตา-ไซโคลเด็กซทริน (β - CD) สีธรรมชาติที่สกัดจากเปลือกผล pitaya สกัดด้วยน้ำ ทำการศึกษาด้วยการใช้ UV/Vis spectroscopy และยังศึกษาผลของค่า pH ความเข้มข้นของสารบีตา-ไซโคลเด็กซทรินอุณหภูมิ และ ionic strength ต่ออันตรกิริยาการรวมตัวกันพบว่า สภาวะที่ดีที่สุดของการรวมตัวกันระหว่างสีธรรมชาติกับสารบีตา-ไซโคลเด็กซทรินที่ pH 5.00 ความเข้มข้น 0.004M อุณหภูมิ 25°C ค่าคงที่ของการเกิด ที่อัตราส่วนโมลาร์ 1 : 1 คำนวณโดยใช้สมการที่ปรับจาก Benesi Hildebrand โดยการแปรอุณหภูมิ พบว่า ค่าคงที่ของการเกิดลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่วนพารามิเตอร์ทางอุณหพลวัต ได้แก่ เอนทัลปี (ΔH°) เอนโทรปี (ΔS°) และพลังงานเสรี (ΔG°) โดยใช้สมการ van Hoff ได้ ΔH°-3.22 kJ/mol ΔS° 50.40 kJ/mol แสดงว่า การเกิดสารเชิงซ้อนนี้ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ที่สามารถเกิดได้เองแบบผันกลับได้ สำหรับการเตรียมสารเชิงซ้อนของสีธรรมชาติกับสารบีตา-ไซโคลเด็กซทรินโดยวิธี co-precipitationแล้วทำการวิเคราะห์ ตัวอย่างที่เป็นของแข็งของสีย้อมอย่างเดียว สารบีตา-ไซโคลเด็กซทรินของผสมของสีกับสารบีตา-ไซโคลเด็กซทรินและสารเชิงซ้อนเครื่องมือที่ใช้ศึกษา ได้แก่ Fourier Transform Infrared (FTIR) สำหรับตรวจหา functional group Scanning Electron Microscope (SEM) ตรวจ morphology surface X-Ray Diffractometer (PXRD) ตรวจสอบโครงผลึกและยังมีการวิเคราะห์เชิงอุณหภาพ อาทิ ร้อยละการสูญเสียน้ำ โดยใช้ Thermogravimetry Analysis (TGA) ซึ่งตัวอย่างทั้ง 4 มีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำ 8.56%, 9.23%, 14.23% และ 29.89% ตามลำดับ อุณหภูมิการสลายตัว ด้วย Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า อุณหภูมิการสลายตัวของ สารเชิงซ้อนที่ 300°C สูงกว่าสีย้อมและสารบีตา-ไซโคลเด็กซทริน

Zeljko Senić, Sonja Bauk, Maja Vitorović-Todorović, Nataša Pajić, Aleksandar Samolov และ Dušan Rajić (2011) ได้ทำการวิจัยออกแบบเส้นใยที่เรียกว่า “smart textiles”เป็นเส้นใยที่มีสมบัติพิเศษสามารถกำจัดคราบสกปรกได้เอง โดยการสลายสารพิษได้โดยใช้นาโนของโลหะออกไซด์ใส่ในเส้นใย

S. B. Chaudhari, A. A. Mandot และ B.H. Patel. (2012) ได้เตรียมผ้าโดยการใช้นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ขนาด เล็กกว่า 100 นาโนเมตร ด้วยเทคนิคPad-Dry-Cure แล้วศึกษาการสลายตัวของอนุภาคนาโนด้วย SEM และวิเคราะห์ด้วย Oxford –Inca softwareพบว่า ผ้ามีสมบัติต้านแบคทีเรียได้ ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต สามารถทำความสะอาดได้เอง และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม

Morteza Haghi , Mohammad Hekmatafshar, Mohammad B. Janipour, Saman Seyyedgholizadeh, Mohammad Kazem Faraz, Farzad Sayyadifar และ Marjan Ghaedi. (2012) ได้ศึกษาถึง บทบาทของนาโนเทคโนโลยี พบว่า วัสดุนาโนมีความน่าสนใจเนื่องจาก ศักยภาพของกระบวนการจำเพาะและการเลือกสรร โดยเฉพาะ การนำไปใช้ทางชีววิทยาและเภสัชกรรม ในการต่อต้านแบกทีเรีย เช่น นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร มีคุณลักษณะ สมบัติเชิงแสง สมบัติไดอิเล็กทริก สมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง และสมบัติต่อต้านแบกทีเรีย จากการใช้ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ เข้มข้น 0.01, 0.50, 1.00 และ 1.50 % ในอาหารของ E. coli แล้วประเมินด้วยค่าความหนาแน่นเชิงแสง (optical density, OD) และ การทดสอบการแพร่ในจาน Kirby – Bauer พบว่าค่า OD ลดลงตามการเพิ่มความเข้มข้นของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ คือ มีค่า OD เป็น 0.225, 0.218, 0.158, 0.075, และ 0.031 ตามลำดับ แสดงถึงการยับยั้งแบกทีเรียของนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยมีการยับยั้งแบกทีเรียมากที่สุดที่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ 1.5% เนื่องจากวัสดุนาโนไม่กระตุ้นปฏิกิริยาเอนไซม์และ DNA โดยการจับกลุ่มที่ให้อิเล็กตรอน เช่น carboxylate, amides, indoles, hydroxyls, thiols และอื่นๆ จึงเกิดรูเล็กๆ ในเซลล์แบกทีเรียทำให้ซึมผ่านได้มากขึ้น เซลล์ตายได้ แสดงให้เห็นว่า นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารต่อต้านแบกทีเรีย

Ali Sadeghian Maryan, Majid Montazer, Tina Harifi และ Mahnaz Mahmoudi Rad (2013) ใช้นาโนเทคโนโลยีปรับเส้นใยด้วย quaternary modified mont-morillonite และใช้ common enzymes such เช่น cellulase, laccase และสารผสมของเอนไซม์เหล่านี้กับvat dyed cotton fabric แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของตัวอย่าง การกระจายตัวของสารนาโน การแยกการต่อต้านแบคทีเรียและการต่อต้านเชื้อรา ความสว่าง และความนุ่มของเนื้อผ้า และยังพบว่ามีความเป็นพิษต่อผิวหนังมนุษย์

I Kartini, I Ilmi และ E S Kunarti, Kamariah. (2013) ได้ศึกษาความคงทนของสีเขียวของมาลาไคต์ (malachite green dye) ที่ย้อมผ้าฝ้ายโดยการเคลือบด้วยวัสดุนาโนซิลิกา-ไทเทเนียม ที่ได้จากการไฮโดรลิซิสของ titanium (IV) tetraisopropoxide (TTIP) และ tetraethylortosilicate (TEOS) ใน ethanol โดยศึกษาสัณฐานวิทยาของ nanosols ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Transmission Electron Microscope ,TEM). พบว่า nanosols ของซิลิกา-ไทเทเนียมมีสัณฐานวิทยาที่เป็นเอกพันธุ์ ของทรงกลมที่เชื่อมต่อกัน 20 – 25 นาโนเมตร ช่วยให้ดูดซึมสีย้อมได้ดีขึ้น แล้วบันทึกการสะท้อนแสงของสีทั้งก่อนและหลังการซักด้วย sodium dodecyl sulphate พบว่า สามารถช่วยเพิ่มความคงทนการซักได้ 40 – 95

จะเห็นได้ว่า นาโนซิงค์ออกไซด์มีสมบัติในการช่วยต่อต้านแบคทีเรียนและเพิ่มความคงทนของสีย้อมต่อการซัก จึงเป็นที่น่าสนใจว่า นาโนซิงค์ออกไซด์จะมีผลต่อค่าสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติและสามารถช่วยเพิ่มความคงทนการซักได้เป็นอย่างดี